

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004 年 6 月 24 日 (24.06.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/053956 A1

(51) 国際特許分類<sup>7</sup>: H01L 21/027, G03F 7/20

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/015735

(22) 国際出願日: 2003 年 12 月 9 日 (09.12.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願 2002-357931  
2002 年 12 月 10 日 (10.12.2002) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社  
ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331  
東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 長坂 博之 (NA-  
GASAKA, Hiroyuki) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千代田

区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo  
(JP). 馬込 伸貴 (MAGOME, Nobutaka) [JP/JP]; 〒100-  
8331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会  
社ニコン内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 川北 喜十郎 (KAWAKITA, Kijuro); 〒160-0022  
東京都新宿区新宿五丁目 1 番 15 号 新宿MMビル  
Tokyo (JP).

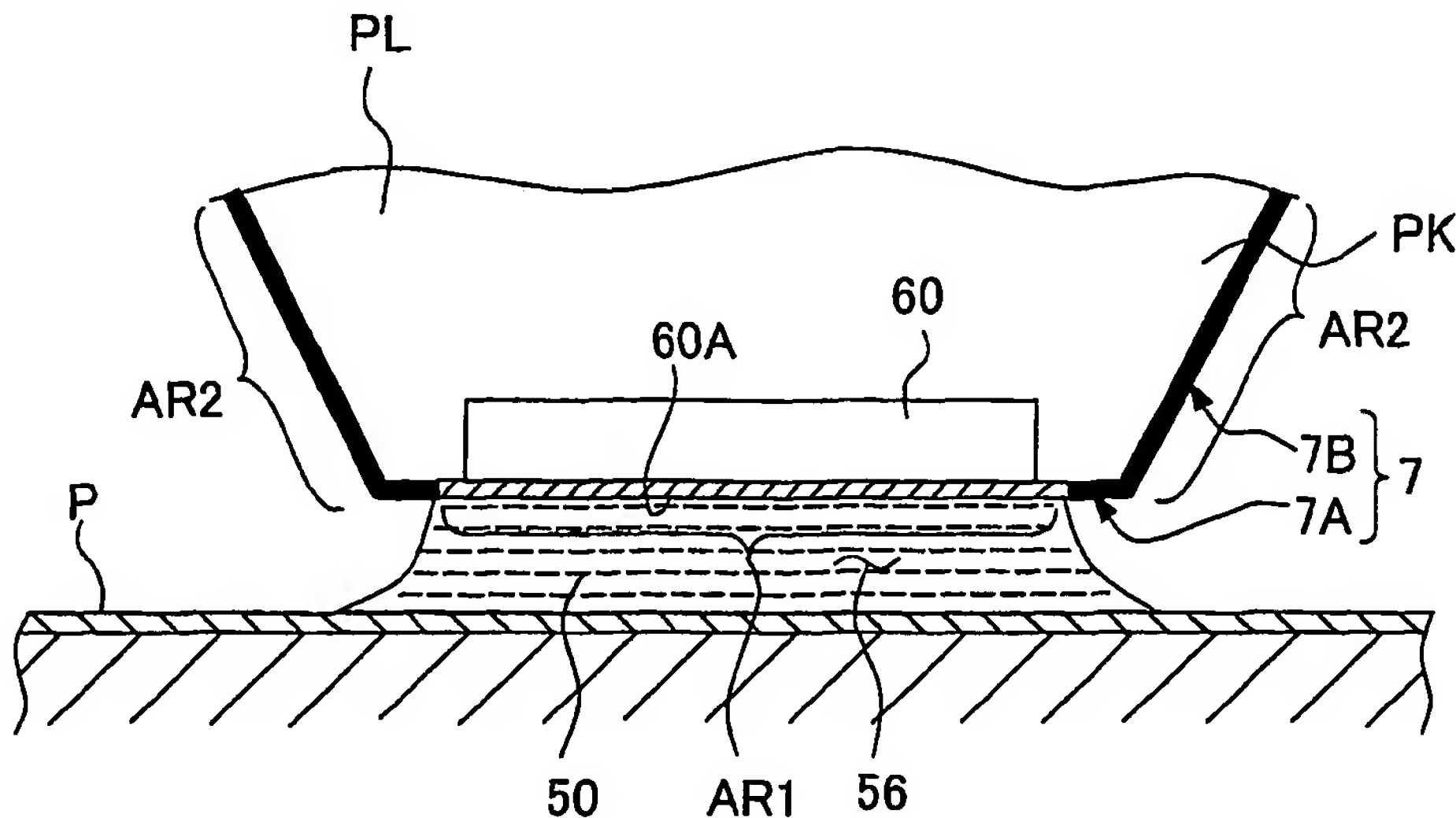
(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB,  
BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE,  
DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR,  
LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ,  
NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,  
SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US,  
UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (BW, GH, GM, KE, LS,  
MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特  
許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッ

[続葉有]

(54) Title: EXPOSURE APPARATUS, EXPOSURE METHOD AND METHOD FOR MANUFACTURING DEVICE

(54) 発明の名称: 露光装置及び露光方法、デバイス製造方法



(57) Abstract: In an exposure apparatus, an exposure of a substrate (P) is carried out by filling at least a portion of the space between a projection optical system (PL) and the substrate (P) with a liquid (50) and projecting the image of a pattern onto the substrate (P) through the projection optical system (PL). An optical element (60) and a lens-barrel (PK), which are in contact with the liquid (50) when the substrate (P) is moved, are subjected to a surface treatment for adjusting the affinity with the liquid (50). Consequently, formation of air bubbles in the liquid between the projection optical system and the substrate is suppressed and the liquid is always held between the projection optical system and the substrate, thereby creating a good immersion state.

[続葉有]



パ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

(57) 要約: 露光装置は、投影光学系P Lと基板Pとの間の少なくとも一部を液体5 0で満たすとともに、投影光学系P Lを介してパターンの像を基板P上に投影して、基板Pを露光する。基板Pを移動するとき液体5 0と接触する部分である光学素子6 0及び鏡筒P Kには、液体5 0との親和性を調整する表面処理が施されている。投影光学系と基板の間の液体に気泡が生ずることが防止され、また、投影光学系と基板の間に液体が常に維持されるので、良好な液浸状態が形成される。

## 明細書

## 露光装置及び露光方法、デバイス製造方法

## 技術分野

本発明は、投影光学系と基板との間の少なくとも一部を液体で満たした状態で投影光学系によって投影したパターン像で露光する露光装置及び露光方法、並びにデバイス製造方法に関するものである。

## 背景技術

半導体デバイスや液晶表示デバイスは、マスク上に形成されたパターンを感光性の基板上に転写する、いわゆるフォトリソグラフィの手法により製造される。このフォトリソグラフィ工程で使用される露光装置は、マスクを支持するマスクステージと基板を支持する基板ステージとを有し、マスクステージ及び基板ステージを逐次移動しながらマスクのパターンを投影光学系を介して基板に転写するものである。近年、デバイスパターンのより一層の高集積化に対応するために投影光学系の更なる高解像度化が望まれている。投影光学系の解像度は、使用する露光波長が短くなるほど、また投影光学系の開口数が大きいくほど高くなる。そのため、露光装置で使用される露光波長は年々短波長化しており、投影光学系の開口数も増大している。そして、現在主流の露光波長は、KrFエキシマレーザの248nmであるが、更に短波長のArFエキシマレーザの193nmも実用化されつつある。また、露光を行う際には、解像度と同様に焦点深度(DOF)も重要となる。解像度R、及び焦点深度 $\delta$ はそれぞれ以下の式で表される。

$$R = k_1 \cdot \lambda / NA \quad \dots \quad (1)$$

$$\delta = \pm k_2 \cdot \lambda / NA^2 \quad \dots \quad (2)$$

ここで、 $\lambda$ は露光波長、NAは投影光学系の開口数、 $k_1$ 、 $k_2$ はプロセス係数である。(1)式、(2)式より、解像度Rを高めるために、露光波長 $\lambda$ を短くして、開口数NAを大きくすると、焦点深度 $\delta$ が狭くなることが分かる。

焦点深度 $\delta$ が狭くなり過ぎると、投影光学系の像面に対して基板表面を合致させることが困難となり、露光動作時のマージンが不足する恐れがある。そこで、実質的に露光波長を短くして、且つ焦点深度を広くする方法として、例えば国際公開第99/49504号公報に開示されている液浸法が提案されている。この液浸法は、投影光学系の下面と基板表面との間を水や有機溶媒等の液体で満たし、液体中での露光光の波長が、空気中の $1/n$ （ $n$ は液体の屈折率で通常1.2～1.6程度）になることを利用して解像度を向上するとともに、焦点深度を約 $n$ 倍に拡大するというものである。

ところで、投影光学系と基板との間に液体を流しながら露光する場合や、投影光学系と基板との間に液体を満たした状態で投影光学系に対して基板を移動しながら露光する場合、投影光学系や基板に対して液体が剥離する可能性があり、基板に転写されるパターン像が劣化するといった不都合が生じる。あるいは、投影光学系と基板との間で液体を流しながら露光する場合にその液体の流れに乱流が生じた場合もパターン像が劣化する。

### 発明の開示

本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであって、投影光学系と基板との間に液体を満たして露光処理する際、液体を所望の状態に配置して精度良くパターンを転写できる露光装置及び露光方法、並びにデバイス製造方法を提供することを目的とする。但し、各要素に付した括弧付き符号はその要素の例示に過ぎず、各要素を限定するものではない。

上記の課題を解決するため、本発明は実施の形態に示す図1～図9に対応付けた以下の構成を採用している。

本発明の第1の態様に従えば、パターンの像を液体（50）を介して基板（P）上に転写して基板を露光する露光装置であって：

前記パターンの像を基板に投影する投影光学系（P L）を備え、  
前記投影光学系（P L）の前記液体（5 0）と接触する部分（6 0、P K）は、  
液体（5 0）との親和性を調整するために表面処理されている露光装置（E X）  
が提供される。

本発明の露光装置では、液体投影光学系の液体と接触する部分（以下、適宜、「液体接触部分」という）に、液体との親和性を調整するための表面処理が施されているので、投影光学系と基板との間に液体が所望の状態で維持される。例えば、液体接触部分の液体との親和性が低すぎる場合、前記接触する部分と液体とが剥離したり、あるいは気泡が発生するなどの液浸露光に悪影響を及ぼす現象が生じる。一方、液体接触部分の液体との親和性が高すぎる場合、液体が前記接触する部分に対して過剰に濡れ拡がって投影光学系と基板との間から流出する等の不都合が生じる場合がある。これに対して、本発明の露光装置では、投影光学系の液体接触部分の液体との親和性が調整されているために、露光中に基板が露光光に対して静止されている一括露光のみならず、露光中に基板が移動ステージにより移動される走査型露光装置であっても、液浸状態が確実に基板と投影光学系との間に維持される。

本発明の第 2 の態様に従えば、パターンの像を液体（5 0）を介して基板（P）上に転写して基板を露光する露光装置であって：

前記パターンの像を基板に投影する投影光学系（P L）を備え、  
前記投影光学系（P L）が、その先端の光学素子（6 0）表面を含む第 1 表面領域（A R 1）と、第 1 表面領域（A R 1）周辺の第 2 表面領域（A R 2）とを有し、  
第 1 表面領域（A R 1）の液体（5 0）に対する親和性が、第 2 表面領域（A R 2）の液体（5 0）に対する親和性よりも高い露光装置（E X）が提供される。

本発明によれば、投影光学系の先端の光学素子を含む第 1 表面領域の液体に対する親和性を、その周辺の第 2 表面領域より高くすることで、第 1 表面領域によ

り露光光の光路上では液体が安定して配置されるとともに、第2表面領域により液体が周囲に濡れ拡がらず外部に流出しない。したがって、露光中に基板が露光光に対して静止されている一括露光のみならず、露光中に基板が露光光に対して移動される走査型露光であっても、液体を露光光の光路上に安定して配置することができる。

本発明の第3の態様に従えば、露光ビーム（EL）でパターンを照明し、パターンの像を液体（50）を介して基板（P）上に転写して基板を露光する露光装置であって：

前記パターンの像を基板に投影する投影光学系（PL）と；

投影光学系（PL）と基板（P）との間の少なくとも一部を液体（50）で満たす液浸装置（1、2）と；を備え、

液体（50）の厚さを $d$ 、投影光学系（PL）と基板（P）の間における液体（50）の流れの速度を $v$ 、液体（50）の密度を $\rho$ 、液体（50）の粘性係数を $\mu$ として、条件式 $(v \cdot d \cdot \rho) / \mu \leq 2000$ が満足されている露光装置（EX）が提供される。

本発明によれば、上記条件式を満足するように、投影光学系（PL）と基板（P）との間の少なくとも一部に液体が維持される条件を設定することにより、液体に乱流が生じない。したがって、液体の乱流に起因して基板に投影されるパターン像が劣化したりする等の不都合を抑えることができる。

本発明の第4の態様に従えば、露光ビーム（EL）でマスク（M）のパターンを照明し、パターンの像を液体（50）を介して基板（P）上に転写して基板を露光する露光装置であって：

前記パターンの像を基板に投影する投影光学系（PL）と；

投影光学系（PL）と基板（P）との間の少なくとも一部を液体で満たすための液浸装置（1、2）と；を備え、

液体（50）が基板（P）の走査方向と平行に層流となって流れる露光装置



(EX) が提供される。

本発明によれば、液浸状態を種々の方法により制御することにより、露光中に液体が基板の走査方向と平行に層流となって流れるので、基板に投影されるパターン像の劣化を防止することができる。また、液体に接する投影光学系やウエハあるいはウエハを保持する基板ステージ等に不要な振動を発生させることもない。例えば、液浸装置の液体供給（回収）量を制御したり、液浸装置の液体供給ノズルの構造を調整したり、あるいは露光時に基板を移動する場合にはその速度を調整することで、液体の流れを層流化することができる。

本発明の第5の態様に従えば、露光ビーム（EL）でパターンを照明し、パターンの像を液体（50）を介して基板（P）上に転写して基板を露光する露光装置であって：

前記パターンの像を基板に投影する投影光学系（PL）と；

基板（P）上のみに液体（50）を供給する液浸装置（1、2）と；

液浸装置（1、2）を制御する制御装置（CONT）と；を備え、

該制御装置（CONT）は、基板（P）の露光中に液体（50）の供給が停止されるように液浸装置（1、2）を制御する露光装置（EX）が提供される。

本発明によれば、液浸装置が基板の露光中に液体の供給を行わないように制御されることにより、基板上に塗布された感光剤を傷めることがなく、基板上に形成されるパターンの劣化を防止でき、また、投影光学系と基板との位置関係を安定して所望の状態に維持できる。

本発明の第6の態様に従えば、投影光学系（PL）によるパターンの像を基板（P）上に投影して基板（P）を露光する露光方法において：

露光前に、基板（P）の表面を、液体（50）との親和性を調整するために表面処理することと；

投影光学系（PL）と基板（P）との間の少なくとも一部を液体（50）で満

たすことと；

パターンの像を、液体（50）を介して基板（P）上に投影することを含む露光方法が提供される。

本発明によれば、液浸露光が行われる前に、基板の表面に、液体との親和性に応じた表面処理を施すことで、基板上に液体を液浸露光に好適な状態で維持できる。例えば、液体との親和性が低すぎる場合、基板の表面に対して液体が剥離したり、あるいは気泡が発生する等の不都合が生じる。一方、液体との親和性が高すぎる場合、液体が基板上で過剰に濡れ広がるなどの不都合が生じる場合がある。これに対して、本発明の露光方法のように、液体との親和性を考慮して、基板表面に適切な処理を施すことにより、基板上で液体を所望の状態に保持することができ、また基板上の液体の回収及び除去を適切に行うことができる。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明の露光装置の一実施形態を示す概略構成図である。

図2は、供給ノズル及び回収ノズルの配置例を示す図である。

図3は、供給ノズル及び回収ノズルの配置例を示す図である。

図4は、投影光学系及び基板が表面処理されている領域を説明するための模式図である。

図5（a）～（c）は、表面処理が施されていない投影光学系と基板との間に液体が流れる様子を説明するための模式図である。

図6（a）～（c）は、表面処理が施された投影光学系と基板との間に液体が流れる様子を説明するための模式図である。

図7は、本発明の他の実施形態を説明するための図である。

図8（a）及び（b）は、供給ノズルの他の実施例を示す図である。

図9は、基板上に設けられたカバーガラスを示す図である。

図10は、半導体デバイスの製造工程の一例を示すフローチャート図である。



## 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の露光装置及びデバイス製造方法について図面を参照しながら説明するが、本発明はこれに限定されない。図1は本発明の露光装置の一実施形態を示す概略構成図である。

図1において、露光装置EXは、マスクMを支持するマスクステージMSTと、基板Pを支持する基板ステージPSTと、マスクステージMSTに支持されているマスクMを露光光ELで照明する照明光学系ILと、露光光ELで照明されたマスクMのパターンの像を基板ステージPSTに支持されている基板Pに投影露光する投影光学系PLと、露光装置EX全体の動作を統括制御する制御装置CONTとを備えている。

ここで、本実施形態では、露光装置EXとしてマスクMと基板Pとを走査方向における互いに異なる向き（逆方向）に同期移動しつつマスクMに形成されたパターンを基板Pに露光する走査型露光装置（所謂スキャニングステッパ）を使用する場合を例にして説明する。以下の説明において、投影光学系PLの光軸AXと一致する方向をZ軸方向、Z軸方向に垂直な平面内でマスクMと基板Pとの同期移動方向（走査方向）をX軸方向、Z軸方向及びY軸方向に垂直な方向（非走査方向）をY軸方向とする。また、X軸、Y軸、及びZ軸まわり方向をそれぞれ、 $\theta X$ 、 $\theta Y$ 、及び $\theta Z$ 方向とする。なお、ここでいう「基板」は半導体ウエハ上にレジストを塗布したものを含み、「マスク」は基板上に縮小投影されるデバイスパターンを形成されたレチクルを含む。

照明光学系ILは、マスクステージMSTに支持されているマスクMを露光光ELで照明するものであり、露光用光源、露光用光源から射出された光束の照度を均一化するオブティカルインテグレータ、オブティカルインテグレータからの露光光ELを集光するコンデンサレンズ、リレーレンズ系、露光光ELによるマスクM上の照明領域をスリット状に設定する可変視野絞り等を有している。マス

クM上の所定の照明領域は照明光学系I Lにより均一な照度分布の露光光E Lで照明される。照明光学系I Lから射出される露光光E Lとしては、例えば水銀ランプから射出される紫外域の輝線（g線、h線、i線）及びKrFエキシマレーザー光（波長248nm）等の遠紫外光（DUV光）や、ArFエキシマレーザー光（波長193nm）及びF<sub>2</sub>レーザー光（波長157nm）等の真空紫外光（VUV光）などが用いられる。本実施形態においては、ArFエキシマレーザー光を用いる。

マスクステージM S Tは、マスクMを支持するものであって、投影光学系P Lの光軸A Xに垂直な平面内、すなわちX Y平面内で2次元移動可能及び $\theta$  Z方向に微小回転可能である。マスクステージM S Tはリニアモータ等のマスクステージ駆動装置M S T Dにより駆動される。マスクステージ駆動装置M S T Dは制御装置C O N Tにより制御される。マスクステージM S T上のマスクMの2次元方向の位置、及び回転角はレーザー干渉計によりリアルタイムで計測され、計測結果は制御装置C O N Tに出力される。制御装置C O N Tはレーザー干渉計の計測結果に基づいてマスクステージ駆動装置M S T Dを駆動することでマスクステージM S Tに支持されているマスクMの位置決めを行う。

投影光学系P Lは、マスクMのパターンを所定の投影倍率 $\beta$ で基板Pに投影露光するものであって、複数の光学素子（レンズ）で構成されており、これら光学素子は金属部材、例えばステンレス（S U S 4 0 3）で形成された鏡筒P Kで支持されている。本実施形態において、投影光学系P Lは、投影倍率 $\beta$ が例えば1/4あるいは1/5の縮小系である。なお、投影光学系P Lは等倍系及び拡大系のいずれでもよい。また、本実施形態の投影光学系P Lの基板P側の先端部7には、石英、フッ化カルシウム（蛍石）などのガラス部材から形成された平行平板（光学素子）6 0が設けられている。この光学素子6 0は鏡筒P Kに対して着脱（交換）可能に設けられている。投影光学系P Lの先端部7は、光学素子6 0と、これを保持する鏡筒（保持部材）P Kの一部により構成されている。

基板ステージPSTは、基板Pを支持するものであって、基板Pを基板ホルダを介して保持するZステージ51と、Zステージ51を支持するXYステージ52と、XYステージ52を支持するベース53とを備えている。基板ステージPSTはリニアモータ等の基板ステージ駆動装置PSTDにより駆動される。基板ステージ駆動装置PSTDは制御装置CONTにより制御される。Zステージ51を駆動することにより、Zステージ51に保持されている基板PのZ軸方向における位置（フォーカス位置）、及び $\theta X$ 、 $\theta Y$ 方向における位置が制御される。また、XYステージ52を駆動することにより、基板PのXY方向における位置（投影光学系PLの像面と実質的に平行な方向の位置）が制御される。すなわち、Zステージ51は、基板Pのフォーカス位置及び傾斜角を制御して基板Pの表面をオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で投影光学系PLの像面に合わせ込み、XYステージ52は基板PのX軸方向及びY軸方向における位置決めを行う。なお、ZステージとXYステージとを一体的に設けてよいことはいまでもない。

基板ステージPST（Zステージ51）上には、基板ステージPSTとともに投影光学系PLに対して移動する移動鏡54が設けられている。また、移動鏡54に対向する位置にはレーザ干渉計55が設けられている。基板ステージPST上の基板Pの2次元方向の位置、及び回転角はレーザ干渉計55によりリアルタイムで計測され、計測結果は制御装置CONTに出力される。制御装置CONTはレーザ干渉計55の計測結果に基づいて基板ステージ駆動装置PSTDを駆動することで基板ステージPSTに支持されている基板Pの位置決めを行う。

本実施形態では、露光波長を実質的に短くして解像度を向上するとともに、焦点深度を実質的に広くするために、液浸法を適用する。そのため、少なくともマスクMのパターンの像を基板P上に転写している間は、基板Pの表面と投影光学系PLの先端部7との間に所定の液体50が満たされる。上述したように、投影光学系PLの先端部7には光学素子60及び鏡筒PKの一部が配置されており、液体50は光学素子（ガラス部材）60と、鏡筒（金属部材）PKとに接触する。

本実施形態において、液体50には純水が用いられる。純水は、ArFエキシマレーザ光のみならず、露光光ELを例えば水銀ランプから射出される紫外域の輝線（g線、h線、i線）及びKrFエキシマレーザ光（波長248nm）等の遠紫外光（DUV光）とした場合、この露光光ELを透過可能である。

露光装置EXは、投影光学系PLの先端部7と基板Pとの間の空間56に所定の液体50を供給する液体供給装置（液浸装置、供給装置）1と、空間56の液体50を回収する液体回収装置（液浸装置、回収装置）2とを備えている。液体供給装置1は、投影光学系PLと基板Pとの間の少なくとも一部に、基板Pの走査方向と平行に液体50を流すものであって、液体50を収容するタンク、加圧ポンプなどを備えている。液体供給装置1には供給管3の一端部が接続され、供給管3の他端部には供給ノズル4が接続されている。液体供給装置1は供給管3及び供給ノズル4を介して空間56に液体50を供給する。

液体回収装置2は、吸引ポンプ、回収した液体50を収容するタンクなどを備えている。液体回収装置2には回収管6の一端部が接続され、回収管6の他端部には回収ノズル5が接続されている。液体回収装置2は回収ノズル5及び回収管6を介して空間56の液体50を回収する。空間56に液体50を満たす際、制御装置CONTは液体供給装置1を駆動し、供給管3及び供給ノズル4を介して空間56に対して単位時間当たり所定量の液体50を供給するとともに、液体回収装置2を駆動し、回収ノズル5及び回収管6を介して単位時間当たり所定量の液体50を空間56より回収する。これにより、投影光学系PLの先端面7と基板Pとの間の空間56に液体50が保持される。

走査露光時には、先端面60Aの直下の矩形の投影領域にマスクMの一部のパターン像が投影され、投影光学系PLに対して、マスクMが-X方向（又は+X方向）に速度Vで移動するのに同期して、XYステージ52を介して基板Pが+X方向（又は-X方向）に速度 $\beta \cdot V$ （ $\beta$ は投影倍率）で移動する。そして、1つのショット領域への露光終了後に、基板Pのステッピングによって次のショッ

ト領域が走査開始位置に移動し、以下、ステップ・アンド・スキャン方式で各ショット領域に対する露光処理が順次行われる。本実施形態では、基板Pの移動方向と平行に基板の移動方向と同一方向に液体50を流すように設定されている。

図2は、投影光学系PLの先端部7と、液体50をX軸方向に供給する供給ノズル4（4A～4C）と、液体50を回収する回収ノズル5（5A、5B）との位置関係を示す図である。図2において、先端部7（光学素子60の先端面60A）の形状はY軸方向に細長い矩形状となっており、投影光学系PLの先端部7をX軸方向に挟むように、+X方向側に3つの供給ノズル4A～4Cが配置され、-X方向側に2つの回収ノズル5A、5Bが配置されている。そして、供給ノズル4A～4Cは供給管3を介して液体供給装置1に接続され、回収ノズル5A、5Bは回収管4を介して液体回収装置2に接続されている。また、供給ノズル4A～4Cと回収ノズル5A、5Bとを先端部7の中心に対して略180°回転した位置に、供給ノズル8A～8Cと、回収ノズル9A、9Bとが配置されている。供給ノズル4A～4Cと回収ノズル9A、9BとはY軸方向に交互に配列され、供給ノズル8A～8Cと回収ノズル5A、5BとはY軸方向に交互に配列され、供給ノズル8A～8Cは供給管10を介して液体供給装置1に接続され、回収ノズル9A、9Bは回収管11を介して液体回収装置2に接続されている。ノズルからの液体の供給は、投影光学系PLと基板Pとの間に気体部分が生じないように行われる。

また、図3に示すように、先端部7を挟んでY軸方向両側のそれぞれに供給ノズル31、32及び回収ノズル33、34を設けることもできる。この供給ノズル及び回収ノズルにより、ステップ移動する際の基板Pの非走査方向（Y軸方向）への移動時においても、投影光学系PLと基板Pとの間に液体50を安定して供給することができる。

なお、上述したノズルの形状は特に限定されるものでなく、例えば先端部7の長辺について2対のノズルで液体50の供給又は回収を行うようにしてもよい。



なお、この場合には、 $+X$ 方向、又は $-X$ 方向のどちらの方向からも液体50の供給及び回収を行うことができるようにするため、供給ノズルと回収ノズルと上下に並べて配置してもよい。

図4は、投影光学系PLの先端部7近傍の拡大図である。図4において、投影光学系PLの先端部7には、液体50との親和性に応じた表面処理が施されている。先端部7は、走査露光するために基板Pを走査方向（ $X$ 軸方向）に移動するときに液体50と接触する部分であって、光学素子60の下面60A及び鏡筒PK下面の一部を含む投影光学系PLの下面7A、及びこの下面7Aに接続する鏡筒PKの一部の側面7Bを含む。本実施形態において、液体50は水であるため、先端部7には水との親和性に応じた表面処理が施されている。

投影光学系PLの先端部7において、光学素子60の表面（下面）60A及び鏡筒PKの下面の一部の領域を含む第1表面領域AR1と、この第1表面領域AR1周辺であって鏡筒PKの下面の残りの領域及び鏡筒PKの側面を含む第2表面領域AR2とは、互いに異なる表面処理が施されている。具体的には、第1表面領域AR1の液体（水）50に対する親和性が、第2表面領域AR2の液体（水）50に対する親和性より高くなるように、第1、第2表面領域AR1、AR2のそれぞれに対して表面処理が施されている。ここでは、光学素子60を含む第1表面領域AR1に対しては親液性を付与する親液化処理（親水化処理）、第2表面領域AR2に対しては撥液性を付与する撥液化処理（撥水化処理）が施されている。親液化処理とは液体に対する親和性を高くする処理であり、撥液化処理とは液体に対する親和性を低くする処理である。

表面処理は液体50の極性に応じて行われる。本実施形態において、液体50は極性の大きい水であるため、光学素子60を含む第1表面領域AR1に対する親水化処理として、例えばアルコールなど極性の大きい分子構造の物質で薄膜を形成することで、この第1表面領域AR1に対して親水性を付与する。あるいは、第1表面領域AR1の光学素子60の下面60A及び鏡筒PKに対して、例えば



処理ガスとして酸素 ( $O_2$ ) を用いてプラズマ処理する  $O_2$  プラズマ処理を施すことによって表面に極性の強い酸素分子 (または酸素原子) が多く集まるため親水性を付与することができる。このように、液体 50 として水を用いる場合には第 1 表面領域 A R 1 に O H 基など極性の大きい分子構造を持ったものを表面に配置させる処理が望ましい。また、第 1 表面領域 A R 1 は、ガラス部材である光学素子 60 と金属部材である鏡筒 P K とを含んでいるため、親水化処理する場合、ガラス部材と金属部材とのそれぞれに異なる物質で薄膜を形成するなど、異なる表面処理を行うことができる。もちろん、第 1 表面領域 A R 1 のガラス部材及び金属部材のそれぞれに対して同じ表面処理を施してもよい。また、薄膜を形成する場合には、塗布や蒸着などの手法を用いることができる。

一方、鏡筒 P K 表面を含む第 2 表面領域 A R 2 に対しては撥水化処理が施される。第 2 表面領域 A R 2 に対する撥水化処理として、例えばフッ素を含む極性の小さい分子構造の物質で薄膜を形成することで、この第 2 表面領域 A R 2 に対して撥水性を付与する。あるいは、処理ガスとして四フッ化炭素 ( $CF_4$ ) を用いてプラズマ処理する  $CF_4$  プラズマ処理を施すことによって撥水性を付与することができる。第 2 表面領域 A R 2 に対して薄膜を形成する場合においても、塗布や蒸着などの手法を用いることができる。

また、本実施形態では、基板 P の表面にも、液体 50 との親和性に合わせて表面処理が施されている。ここでは、基板 P の表面に対して親水化処理が施されている。基板 P に対する親水化処理としては、上述したような例えばアルコールなど極性の大きい分子構造の物質で薄膜を形成することで基板 P の表面に対して親液性を付与する。なお、基板 P の表面をアルコールなどを塗布して表面処理した場合には、露光後であって次の感光材料の塗布の前工程、例えば、ディベロッパー／コーターに基板を搬送する前に、塗膜を洗浄するための洗浄工程を設けることが望ましい。

そして、第 1 表面領域 A R 1 の液体 50 に対する親和性を、第 2 表面領域 A R

2の液体50に対する親和性よりも高くすることによって、液体50が第1表面領域AR1内で安定して保持される。

ここで、表面処理のための薄膜は、液体50に対して非溶解性の材料により形成される。また、光学素子60に形成される薄膜は、露光光ELの光路上に配置されるものであるため、露光光ELに対して透過性を有する材料で形成され、その膜厚も露光光ELを透過可能な程度に設定される。

次に、上述した露光装置EXを用いてマスクMのパターンを基板Pに露光する際の作用について説明する。

マスクMがマスクステージMSTにロードされるとともに、基板Pが基板ステージPSTにロードされたら、制御装置CONTは液体供給装置1を駆動し、空間56に対する液体供給動作を開始する。液体供給装置1は空間56に対して基板Pの移動方向に沿って液体50を供給する。例えば、矢印Xa（図2参照）で示す走査方向（-X方向）に基板Pを移動させて走査露光を行う場合には、供給管3、供給ノズル4A～4C、回収管4、及び回収ノズル5A、5Bを用いて、液体供給装置1及び液体回収装置2により液体50の供給及び回収が行われる。すなわち、基板Pが-X方向に移動する際には、供給管3及び供給ノズル4（4A～4C）を介して液体供給装置1から液体50が投影光学系PLと基板Pとの間に供給されるとともに、回収ノズル5（5A、5B）、及び回収管6を介して液体50が液体回収装置2に回収され、レンズ60と基板Pとの間を満たすように-X方向に液体50が流れる。一方、矢印Xbで示す走査方向（+X方向）に基板Pを移動させて走査露光を行う場合には、供給管10、供給ノズル8A～8C、回収管11、及び回収ノズル9A、9Bを用いて、液体供給装置1及び液体回収装置2により液体50の供給及び回収が行われる。すなわち、基板Pが+X方向に移動する際には、供給管10及び供給ノズル8（8A～8C）を介して液体供給装置1から液体50が投影光学系PLと基板Pとの間に供給されるとともに、回収ノズル9（9A、9B）、及び回収管11を介して液体50が液体回収

装置 2 に回収され、レンズ 60 と基板 P との間を満たすように +X 方向に液体 50 が流れる。このように、制御装置 CONT は、液体供給装置 1 及び液体回収装置 2 を用いて基板 P の移動方向に沿って液体 50 を流す。この場合、例えば液体供給装置 1 から供給ノズル 4 を介して供給される液体 50 は基板 P の -X 方向への移動に伴って空間 56 に引き込まれるようにして流れるので、液体供給装置 1 の供給エネルギーが小さくても液体 50 を空間 56 に容易に供給できる。そして、走査方向に応じて液体 50 を流す方向を切り替えることにより、+X 方向、又は -X 方向のどちらの方向に基板 P を走査する場合にも、レンズ 60 の先端面 7 と基板 P との間を液体 50 で満たすことができ、高い解像度及び広い焦点深度を得ることができる。

このとき、投影光学系 PL や基板 P に表面処理が施されていない場合について考える。図 5 は表面処理が施されていない状態での液体 50 の流れを示す模式図である。ここでは、投影光学系 PL 表面や基板 P 表面は液体 50 に対して親和性が低いものとする。

図 5 (a) は基板ステージ PST が停止している状態を示す図である。液体 50 は供給ノズル 4 より供給され、回収ノズル 5 より回収される。このとき、液体 50 と基板 P とは親和性が低いため、接触角  $\theta$  は大きい。図 5 (b) は基板 P が基板ステージ PST により X 軸方向に移動を開始した状態を示す図である。液体 50 は移動する基板 P に引っ張られるようにして変形する。液体 50 と基板 P とは親和性が低いため、液体 50 は基板 P の表面から離れやすい。図 5 (c) は基板ステージ PST 上の基板 P の移動速度が更に上昇した状態を示す図である。基板 P と液体 50 との間に剥離領域 (気泡) H1 が形成され、しかも光学素子 60 と液体 50 との間にも剥離領域 H2 が形成される。この剥離領域 H1、H2 が露光光 EL の光路上に形成されると、マスク M のパターンが基板 P に正確に転写されない。

図 6 は、図 4 を用いて説明したように投影光学系 P の先端部 7 及び基板 P 表面

が表面処理されている状態での液体 5 0 の流れを示す模式図である。

図 6 (a) は基板ステージ P S T が停止している状態を示す図である。表面処理を施して液体 5 0 と基板 P との親和性を高めたので、接触角  $\theta$  は小さい。図 6 (b) は基板 P が基板ステージ P S T により X 軸方向に移動を開始した状態を示す図である。液体 5 0 と基板 P との親和性は高いので、基板 P が移動しても液体 5 0 は基板 P に過剰に引っ張られない。また、投影光学系 P L の第 1 表面領域 A R 1 の液体 5 0 に対する親和性も高いので、第 1 表面領域 A R 1 と液体 5 0 とは剥離しない。このとき、第 1 表面領域 A R 1 の周辺は、液体 5 0 に対する親和性が低い第 2 表面領域 A R 2 で囲まれているので、空間 5 6 の液体 5 0 は外部に流出することなく、空間 5 6 に安定して配置されている。図 6 (c) は基板ステージ P S T 上の基板 P の移動速度が更に上昇した状態を示す図である。基板 P の移動速度を上昇しても、投影光学系 P L 及び基板 P に対して表面処理が施されているので、液体 5 0 と投影光学系 P L 及び基板 P との間で剥離は生じない。

以上説明したように、液浸法に基づく露光処理において、液体 5 0 と接触する部分である投影光学系 P L の先端部 7 や基板 P の表面に、液体 5 0 との親和性に応じた表面処理を施すことで、液体 5 0 の剥離や気泡の発生等といった不都合の発生を抑え、投影光学系 P L と基板 P との間に液体 5 0 を安定して配置できる。したがって、良好なパターン転写精度を維持できる。

なお、液体 5 0 との親和性に応じた表面処理は、投影光学系 P L の先端部 7 と基板 P 表面のどちらから一方だけに施すようにしてもよい。

また、上記実施形態において、光学素子 6 0 の表面 6 0 A 及び鏡筒（保持部材）P K の下面一部を第 1 表面領域 A R 1 とし、この第 1 表面領域 A R 1 に対して液体 5 0 に対する親和性が高くなるように表面処理が施されるように説明した。すなわち、親液化処理領域と撥液化処理領域との境界が鏡筒 P K 下面にあるように説明したが、この境界は光学素子 6 0 表面に設定されていてもよい。すなわち、

光学素子 60 の一部の領域（少なくとも露光光が通過する領域）に親液化処理が施され、残りの領域に撥液化処理が施されるといった構成でもよい。もちろん、親液化処理領域と撥液化処理領域との境界を、光学素子 60 と鏡筒 P K との境界に一致させてもよい。すなわち、親液化処理を光学素子 60 のみに対して行う構成でもよい。更には、上記境界は投影光学系 P L の下面 7 A に設定することに限らず、投影光学系 P L の下面 7 A 全部を親液化処理してもよい。

更に、表面処理を行う際、親液性（撥液性）に分布を持たせることも可能である。換言すれば、表面処理する面上の複数の領域についての液体の接触角がそれぞれ異なる値となるように表面処理を行うことができる。あるいは、親液化領域と撥液化領域とを適宜分割して配置するようにしてもよい。

また、表面処理のための薄膜は単層膜であってもよいし複数の層からなる膜であってもよい。また、その形成材料も、金属、金属化合物、及び有機物など、所望の性能を発揮できる材料であれば任意の材料を用いることができる。

また、光学素子 60 や基板 P の表面処理には薄膜形成やプラズマ処理等が有効であるが、金属部材である鏡筒 P K の表面処理に関しては、例えばこの鏡筒 P K の表面を粗面処理するなど物理的手法で液体に対する親和性を調整できる。

なお、上述の実施形態においては、投影光学系 P L と基板 P との間における液体の安定した保持を重視して基板 P 表面を親液化（親液処理）しているが、基板 P 表面からの液体の回収や除去を重視する場合には、基板 P 表面を撥液化（撥液処理）してもよい。

また、上述の実施形態においては、液体 50 との親和性に応じた表面処理を、投影光学系 P L の先端部 7 および基板 P の表面に施すようにしているが、投影光学系 P L の先端部 7 と基板 P 表面の少なくとも一方との親和性に応じた液体を液体供給装置 1 から供給するようにしてもよい。



上述したように、本実施形態における液体50は純水を用いた。純水は、半導体製造工場等で容易に大量に入手できるとともに、基板P上のフォトリソトや光学素子（レンズ）等に対する悪影響がない利点がある。また、純水は環境に対する悪影響がないとともに、不純物の含有量が極めて低いため、基板Pの表面、及び投影光学系PLの先端面に設けられている光学素子の表面を洗浄する作用も期待できる。

そして、波長が193nm程度の露光光ELに対する純水（水）の屈折率nはほぼ1.44～1.47程度と言われており、露光光ELの光源としてArFエキシマレーザ光（波長193nm）を用いた場合、基板P上では $1/n$ 、すなわち約131～134nm程度に短波長化されて高い解像度が得られる。更に、焦点深度は空気中に比べて約n倍、すなわち約1.44～1.47倍程度に拡大されるため、空気中で使用する場合と同程度の焦点深度が確保できればよい場合には、投影光学系PLの開口数をより増加させることができ、この点でも解像度が向上する。

本実施形態では、投影光学系PLの先端に光学素子60として平行平板が取り付けられているが、投影光学系PLの先端に取り付ける光学素子としては、投影光学系PLの光学特性、例えば収差（球面収差、コマ収差等）の調整に用いる光学プレートであってもよいし、レンズであってもよい。一方、液体50と接触する光学素子を、レンズより安価な平行平板とすることにより、露光装置EXの運搬、組立、調整時等において投影光学系PLの透過率、基板P上での露光光ELの照度、及び照度分布の均一性を低下させる物質（例えばシリコン系有機物等）がその平行平板に付着しても、液体50を供給する直前にその平行平板を交換するだけでよく、液体50と接触する光学素子をレンズとする場合に比べてその交換コストが低くなるという利点がある。すなわち、露光光ELの照射によりレジストから発生する飛散粒子、または液体50中の不純物の付着などに起因して液体50に接触する光学素子の表面が汚れるため、その光学素子を定期的



に交換する必要があるが、この光学素子を安価な平行平板とすることにより、レンズに比べて交換部品のコストが低く、且つ交換に要する時間を短くすることができ、メンテナンスコスト（ランニングコスト）の上昇やスループットの低下を抑えることができる。

また、液体50の流れによって生じる投影光学系PLの先端の光学素子と基板Pとの間の圧力が大きい場合には、その光学素子を交換可能とするのではなく、その圧力によって光学素子が動かないように堅固に固定してもよい。

なお、本実施形態の液体50は水であるが、水以外の液体であってもよい、例えば、露光光ELの光源がF<sub>2</sub>レーザである場合、このF<sub>2</sub>レーザ光は水を透過しないので、液体50としてはF<sub>2</sub>レーザ光を透過可能な例えばフッ素系オイル（フッ素系の液体）や過フッ化ポリエーテル（PFPE）であってもよい。この場合、投影光学系PLの液体50と接触する部分や基板P表面には、例えばフッ素を含む極性の小さい分子構造の物質で薄膜を形成することで親液化処理する。また、液体50としては、その他にも、露光光ELに対する透過性があるだけで屈折率が高く、投影光学系PLや基板P表面に塗布されているフォトレジストに対して安定なもの（例えばセダー油）を用いることも可能である。この場合も表面処理は用いる液体50の極性に応じて行われる。

次に、本発明の第2実施形態について図7を参照しながら説明する。

本実施形態の露光装置EXでは、投影光学系PLの下面7Aと基板P表面との間における液体50の厚さ（ここでは、投影光学系PLと基板Pとの間隔）をd、投影光学系PLと基板Pの間における液体50の流れの速度をv、液体50の密度をρ、液体50の粘性係数をμとした場合、条件式

$$(v \cdot d \cdot \rho) / \mu \leq 2000 \quad \dots (3)$$

を満足するように設定されている。これにより、空間56において液体50は層流となって流れる。なお、液体50中においては、その液体中の位置に応じて異

なる複数の流れの速度 $v$ が存在することも考えられるが、その最大速度 $V_{max}$ が上記(3)式を満たせばよい。

上記条件式(3)を満足するように、制御装置CONTは、液体供給装置1による空間56に対する液体の単位時間当たりの供給量と、液体回収装置2による空間56の液体の単位時間当たりの回収量とのうち少なくともいずれか一方を調整する。これにより、空間56を流れる液体50の速度 $v$ が決定され、条件式(3)を満足することができる。条件式(3)を満足することで液体50は空間56を層流となって流れる。

あるいは、制御装置CONTは、基板ステージPSTを介して基板Pの走査方向への移動速度を調整することによっても、条件式(3)を満足することができる。すなわち、空間56を流れる液体50の速度 $v$ は基板Pの移動速度で決定されることもある。すなわち、基板P上の液体50が基板Pの移動によって基板Pに引きずられるようにして流れる可能性もある。その場合は、基板Pの移動速度を調整することで条件式(3)を満足することができる。例えば、基板Pと液体50とがほぼ同じ速度で投影光学系PLに対して流れる場合には、基板Pの移動速度を液体50の速度 $v$ として、条件式(3)を満足するようにすればよい。この場合においても、液体50は空間56を層流となって流れる。また、その場合には、基板Pの露光中に必ずしも液体供給装置1及び液体回収装置2を動作させる必要がなく、基板Pの移動速度の調整のみで液体50の流れを層流化することができる。

なお、上記条件式(3)を満足させるために、液体50の厚さ(すなわち投影光学系PLと基板Pとの間の距離) $d$ を露光装置の設計値として予め設定し、これに基づいて速度 $v$ を決定してもよいし、速度 $v$ を設計値として予め設定し、これに基づいて厚さ(距離) $d$ を決定するようにしてもよい。

また、空間56において液体50が層流となって流れるようにするために、例

例えば図 8 (a) に示すように、液体供給装置 1 に接続する供給ノズル 4 の開口部にスリットを設けたり、図 8 (b) に示すように、供給ノズル 4 の開口部に多孔質体を設けることで液体 50 を整流し層流状態で流すことができる。

そして、液体 50 が層流となって流れることにより、圧力の変動による屈折率変化や振動といった不都合が抑制され、良好なパターン転写精度を維持できる。更に、投影光学系 PL のうち液体 50 と接触する部分や基板 P 表面に表面処理を施すとともに、露光装置 EX を上記条件式 (3) を満足するように設定して露光処理することで、空間 56 の液体 50 はパターン転写精度に影響を与えないより一層良好な状態に設定される。

上述の実施形態においては、投影光学系 PL と基板 P との間を局所的に液体で満たす露光装置を採用しているが、露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる液浸露光装置や、ステージ上に所定深さの液体槽を形成しその中に基板を保持する液浸露光装置にも本発明を適用可能である。露光対象の基板を保持したステージを液槽の中で移動させる液浸露光装置の構造及び露光動作については、例えば特開平 6-124873 号公報に、ステージ上に所定深さの液体槽を形成しその中に基板を保持する液浸露光装置の構造及び露光動作については、例えば特開平 10-303114 号公報や米国特許第 5,825,043 号にそれぞれ開示されており、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、これらの文献の記載内容を援用して本文の記載の一部とする。

なお、上記実施形態においては、液体供給装置 1 及び液体回収装置 2 により前記基板 P の露光中にも液体 50 の供給及び回収を継続していたが、基板 P の露光中は液体供給装置 1 及び液体回収装置 2 による液体 50 の供給及び回収を停止するようにしてもよい。すなわち、基板 P の露光開始前に、投影光学系 PL の先端部 7 と基板 P との間に、投影光学系 PL のワーキングディスタンス以下 (0.5 ~ 1.0 mm 程度) の厚さの液浸部分ができる程度に、あるいは、基板 P の全面

に薄い液膜ができる程度に、少量の液体 50 を液体供給装置 1 により基板 P 上に供給し、その液体 50 を介して投影光学系 PL の先端部 7 と基板 P とを密着する。投影光学系 PL の先端部 7 と基板 P との間隔が数 mm 以下なので、基板 P の露光中に、液体供給装置 1 及び液体回収装置 2 による液体の供給及び回収を行わずに基板 P を移動しても、液体 50 の表面張力により投影光学系 PL と基板 P との間に液体 50 を保持し続けることができる。また、液体供給装置 1 からの液体供給によって基板 P 上のレジスト（感光膜）が傷むこともない。この場合、基板 P の周縁に所定幅で液体 50 をはじくコーティング（液体が水の場合は撥水コート）を施しておく、と、基板 P 上から液体 50 が流出するのを防ぐことができる。なお、基板 P を移動する場合には、上述の条件式（3）を満たすようにして液体 50 に乱流を発生させないようにすることは言うまでもない。

また、上述の実施形態では、基板ステージ PST 上で液体（50）の供給を行ったが、基板ステージ PST 上に基板 P が搬入される前に基板 P 上に液体を供給してもよい。この場合、基板 P 上の一部もしくは全面に供給される液体の厚さを 0.5 ～ 1.0 mm 程度にすれば表面張力によって液体を基板 P 上に載せたまま基板ステージ PST への搬入、基板ステージ PST からの搬出を行うことができる。またこの場合も、基板 P の周縁に所定幅の撥液コーティングを施しておけば、基板 P 上での液体の保持力を高めることができる。このように、基板 P 上に液体を保持したまま、基板ステージ PST への基板 P の搬入及び基板ステージ PST からの基板 P の搬出を行うことによって、基板ステージ PST 上で液体の供給及び回収を行う機構を省くことができる。

なお、上記実施形態では、投影光学系 PL と基板 P 表面との間は液体 50 で満たされている構成であるが、例えば、図 9 に示すように、基板 P の表面に平行平板からなるカバーガラス 65 を取り付けた状態で液体 50 を満たす構成であってもよい。ここで、カバーガラス 65 は支持部材 66 を介して Z ステージ 51 上で支持されており、カバーガラス 65、支持部材 66、及び Z ステージ 51 で形成される空間 57 は略密閉空間である。そして、この空間 57 内部に液体 50 及

び基板 P が配置されている。カバーガラス 65 は露光光 E L に対して透過性を有する材料により構成されている。そして、カバーガラス 65 の表面と投影光学系 P L との間の空間 56' に対して、液体供給装置 1 及び液体回収装置 2 による液体 50 の供給及び回収が行われ、カバーガラス 65 の表面と投影光学系 P L の先端部 7 とを間隔を d とした場合、空間 56' において上記条件式 (3) を満足するように設定されている。

そして、このカバーガラス 65 の表面 (上面) に対しても、液体 50 との親和性に応じた表面処理を施すことができる。カバーガラス 65 の表面は親液化処理されることが望ましいため、液体 50 が水である場合、カバーガラス 65 の表面には極性の大きい分子構造の物質で薄膜が形成される。

なお、上記各実施形態の基板 P としては、半導体デバイス製造用の半導体ウエハのみならず、ディスプレイデバイス用のガラス基板や、薄膜磁気ヘッド用のセラミックウエハ、あるいは露光装置で用いられるマスクまたはレチクルの原版 (合成石英、シリコンウエハ) 等が適用される。

露光装置 E X としては、マスク M と基板 P とを同期移動してマスク M のパターンを走査露光するステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置 (スキャニングステッパ) の他に、マスク M と基板 P とを静止した状態でマスク M のパターンを一括露光し、基板 P を順次ステップ移動させるステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置 (ステッパ) にも適用することができる。また、本発明は基板 P 上で少なくとも 2 つのパターンを部分的に重ねて転写するステップ・アンド・スティッチ方式の露光装置にも適用できる。

また、本発明は、ツインステージ型の露光装置にも適用できる。ツインステージ型の露光装置の構造及び露光動作は、例えば特開平 10-163099 号及び特開平 10-214783 号 (対応米国特許 6,341,007、6,400,441、6,549,269 及び 6,590,634)、特表 2000-505



958号（対応米国特許5,969,441）あるいは米国特許6,208,407に開示されており、これらの開示を、それぞれ本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、援用して本文の記載の一部とする。

露光装置EXの種類としては、基板Pに半導体素子パターンを露光する半導体素子製造用の露光装置に限られず、液晶表示素子製造用又はディスプレイ製造用の露光装置や、薄膜磁気ヘッド、撮像素子（CCD）あるいはレチクル又はマスクなどを製造するための露光装置などにも広く適用できる。

基板ステージPSTやマスクステージMSTにリニアモータを用いる場合は、エアベアリングを用いたエア浮上型およびローレンツ力またはリアクタンス力を用いた磁気浮上型のどちらを用いてもよい。また、各ステージPST、MSTは、ガイドに沿って移動するタイプでもよく、ガイドを設けないガイドレスタイプであってもよい。ステージにリニアモータを用いた例は、米国特許5,623,853及び5,528,118に開示されており、それぞれ本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、これらの文献の記載内容を援用して本文の記載の一部とする。

各ステージPST、MSTの駆動機構としては、二次元に磁石を配置した磁石ユニットと、二次元にコイルを配置した電機子ユニットとを対向させ電磁力により各ステージPST、MSTを駆動する平面モータを用いてもよい。この場合、磁石ユニットと電機子ユニットとのいずれか一方をステージPST、MSTに接続し、磁石ユニットと電機子ユニットとの他方をステージPST、MSTの移動面側に設ければよい。

基板ステージPSTの移動により発生する反力は、投影光学系PLに伝わらないように、フレーム部材を用いて機械的に床（大地）に逃がしてもよい。この反力の処理方法は、例えば、米国特許5,528,118（特開平8-16647



5号公報)に詳細に開示されており、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、この文献の記載内容を援用して本文の記載の一部とする。

マスクステージMSTの移動により発生する反力は、投影光学系PLに伝わらないように、フレーム部材を用いて機械的に床(大地)に逃がしてもよい。この反力の処理方法は、例えば、米国特許第5,874,820(特開平8-330224号公報)に詳細に開示されており、この文献の開示を、本国際出願で指定または選択された国の法令で許容される限りにおいて、援用して本文の記載の一部とする。

以上のように、本願実施形態の露光装置EXは、本願特許請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電氣的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電氣的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることはいうまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

半導体デバイス等のマイクロデバイスは、図10に示すように、マイクロデバイスの機能・性能設計を行うステップ201、この設計ステップに基づいたマスク(レチクル)を製作するステップ202、デバイスの基材である基板を製造するステップ203、前述した実施形態の露光装置EXによりマスクのパターンを

基板に露光する露光処理ステップ204、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）205、検査ステップ206等を経て製造される。なお、露光処理ステップ204において、露光前に、基板と液体との親水性を調整するために基板の表面処理を行うステップを含んでいる。

#### 産業上の利用可能性

本発明によれば、液浸露光において、投影光学系と基板との間において、液体の剥離や気泡の発生、あるいは乱流の発生を抑え、液体を所望の状態で維持できるので、広い焦点深度の下でパターン転写を正確に行うことができる。したがって、本発明はArFなどの短波長光源を用いる露光に極めて有用であり、所望の性能を有する高集積化デバイスを製造することができる。

## 請求の範囲

1. パターンの像を液体を介して基板上に転写して基板を露光する露光装置であって：

前記パターンの像を基板に投影する投影光学系を備え、

前記投影光学系の前記液体と接触する部分は、液体との親和性を調整するために表面処理されている露光装置。

2. 前記基板の露光は、前記基板を走査方向に移動しながら行われる請求項 1 に記載の露光装置。

3. 前記表面処理は、前記液体の極性に応じて行われる請求項 1 に記載の露光装置。

4. 前記液体は水であって、前記液体と接触する部分には、極性の大きい分子構造の物質で薄膜を形成することにより前記表面処理がされている請求項 3 に記載の露光装置。

5. 前記液体はフッ素系液体であって、前記液体と接触する部分には、極性の小さい分子構造の物質で薄膜を形成することにより前記表面処理がされている請求項 3 に記載の露光装置。

6. 前記投影光学系の液体と接触する部分は、前記投影光学系の先端の光学素子の表面と該光学素子を保持する保持部材の表面の少なくとも一部とを含み、前記光学素子表面と前記保持部材の表面の少なくとも一部とはいずれも前記液体に対する親和性が高くなるように表面処理されている請求項 1 に記載の露光装置。

7. 前記投影光学系の液体と接触する部分のうちの少なくとも露光光が通過する部分は、前記液体に対する親和性が高くなるように表面処理されている請求項

1 に記載の露光装置。

8. パターンの像を液体を介して基板上に転写して基板を露光する露光装置であって：

前記パターンの像を基板に投影する投影光学系を備え、

前記投影光学系が、その先端の光学素子表面を含む第 1 表面領域と、第 1 表面領域周辺の第 2 表面領域とを有し、

第 1 表面領域の液体に対する親和性が、第 2 表面領域の液体に対する親和性よりも高い露光装置。

9. 前記第 1 表面領域の前記液体に対する親和性を、前記第 2 表面領域の前記液体に対する親和性よりも高いことによって、前記液体が前記第 1 表面領域内に保持される請求項 8 に記載の露光装置。

10. 前記投影光学系と前記基板との間における前記液体の厚さを  $d$ 、前記投影光学系と前記基板との間における前記液体の流れの速度を  $v$ 、前記液体の密度を  $\rho$ 、前記液体の粘性係数を  $\mu$  として、条件式  $(v \cdot d \cdot \rho) / \mu \leq 2000$  を満たすことを特徴とする請求項 1 または 8 に記載の露光装置。

11. 前記投影光学系と前記基板との間の少なくとも一部に、前記液体を流す液浸装置を備え、前記液体は層流として流れることを特徴とする請求項 1 または 8 に記載の露光装置。

12. 露光ビームでパターンを照明し、パターンの像を液体を介して基板上に転写して基板を露光する露光装置であって：

前記パターンの像を基板に投影する投影光学系と；

前記投影光学系と基板との間の少なくとも一部を液体で満たす液浸装置と；を備え、

液体の厚さを  $d$ 、投影光学系と基板との間における液体の流れの速度を  $v$ 、液

体の密度を $\rho$ 、液体の粘性係数を $\mu$ として、条件式 $(v \cdot d \cdot \rho) / \mu \leq 200$ が満足されている露光装置。

13. 前記投影光学系と前記基板との間に前記液体を供給する供給装置と、前記投影光学系と前記基板との間の液体を回収する回収装置とを備え、前記供給装置による前記液体の供給量と前記回収装置による前記液体の回収量とは前記条件式を満たすように決定される請求項12に記載の露光装置。

14. 前記基板は走査方向に移動しながら走査露光され、前記走査露光中の前記基板の移動速度は前記条件式を満たすように決定される請求項13に記載の露光装置。

15. 前記基板は走査方向に移動しながら走査露光され、前記走査露光中の前記基板の移動速度は前記条件式を満たすように決定される請求項12に記載の露光装置。

16. 前記液体の流れる方向は前記走査方向と平行である請求項14に記載の露光装置。

17. 前記投影光学系と前記基板との間は前記液体で満たされており、前記液体の厚さ $d$ は、前記投影光学系と前記基板との間隔である請求項12に記載の露光装置。

18. 露光の際に、前記基板上にはカバーガラスが載置され、前記液体の厚さ $d$ は、前記投影光学系と前記カバーガラスとの間隔である請求項12に記載の露光装置。

19. 露光ビームでマスクのパターンを照明し、パターンの像を液体を介して基板上に転写して基板を露光する露光装置であって：

前記パターンの像を基板に投影する投影光学系と；

前記投影光学系と基板との間の少なくとも一部を液体で満たすための液浸装置と；を備え、

前記液体が基板の走査方向と平行に層流となって流れる露光装置。

20. 前記基板の露光中における前記基板の走査方向への移動速度が、前記液体が層流として流れるように決定される請求項19に記載の露光装置。

21. 前記液浸装置は、前記液体を供給する供給装置と前記液体を回収する回収装置とを有する請求項20に記載の露光装置。

22. さらに、前記液体が層流として流れるように、供給装置による前記液体の供給量と前記回収装置による前記液体の回収量とを制御する制御装置を備える請求項21に記載の露光装置。

23. 前記液浸装置が、前記液体を供給する供給装置と前記液体を回収する回収装置とを有し、さらに、露光装置は、前記液体が層流として流れるように、供給装置による前記液体の供給量と前記回収装置による前記液体の回収量とを制御する制御装置を備える請求項19に記載の露光装置。

24. 前記液体は水であることを特徴とする請求項12または19に記載の露光装置。

25. 前記液体はフッ素系液体であることを特徴とする請求項12または19に記載の露光装置。

26. 前記液浸装置が、前記液体を供給する供給装置と前記液体を回収する回収装置とを有し、供給装置がノズルにスリットまたは多孔質体が設けられたノズルを有する請求項19に記載の露光装置。



27. 露光ビームでパターンを照明し、パターンの像を液体を介して基板上に転写して基板を露光する露光装置であって：

前記パターンの像を基板に投影する投影光学系と；

基板上のみに液体を供給する液浸装置と；

前記液浸装置を制御する制御装置と；を備え、

該制御装置は、基板の露光中に液体の供給が停止されるように液浸装置を制御する露光装置。

28. 前記基板上に供給された液体の厚さは、前記投影光学系のワーキングディスタンスよりも薄く、表面張力によって前記基板上に保持される請求項27に記載の露光装置。

29. 請求項1、8、12、19または27に記載の露光装置を用いてデバイスを製造することを特徴とするデバイス製造方法。

30. 投影光学系によるパターンの像を基板上に投影して基板を露光する露光方法において：

露光前に、基板の表面を、液体との親和性を調整するために表面処理することと；

投影光学系と基板との間の少なくとも一部を液体で満たすことと；

パターンの像を、液体を介して基板上に投影することを含む露光方法。

31. 前記基板の露光は、前記基板を走査方向に移動しながら行われる請求項30に記載の露光方法。

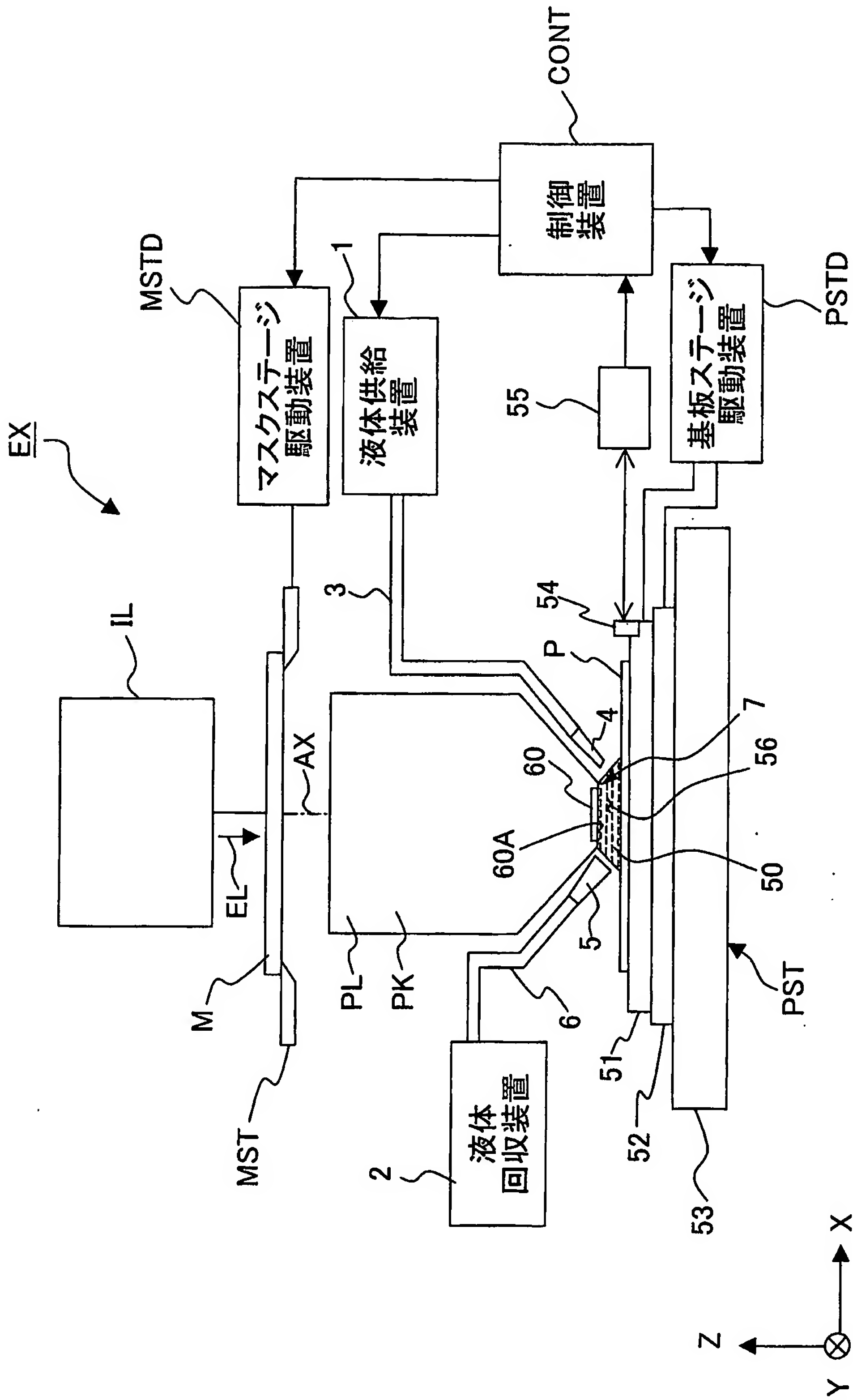
32. 前記表面処理は、前記液体の極性に応じて行われる請求項30に記載の露光方法。

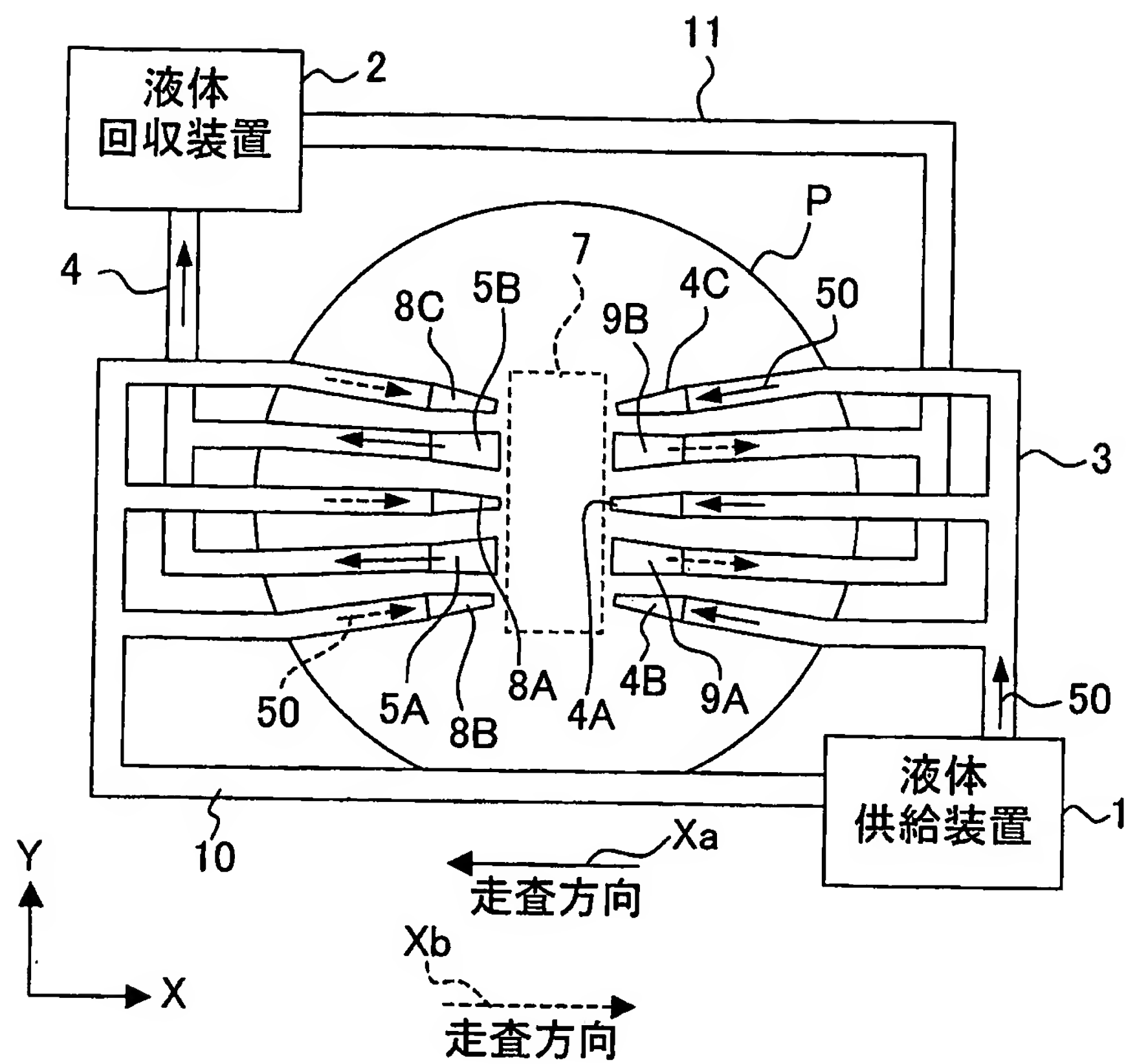
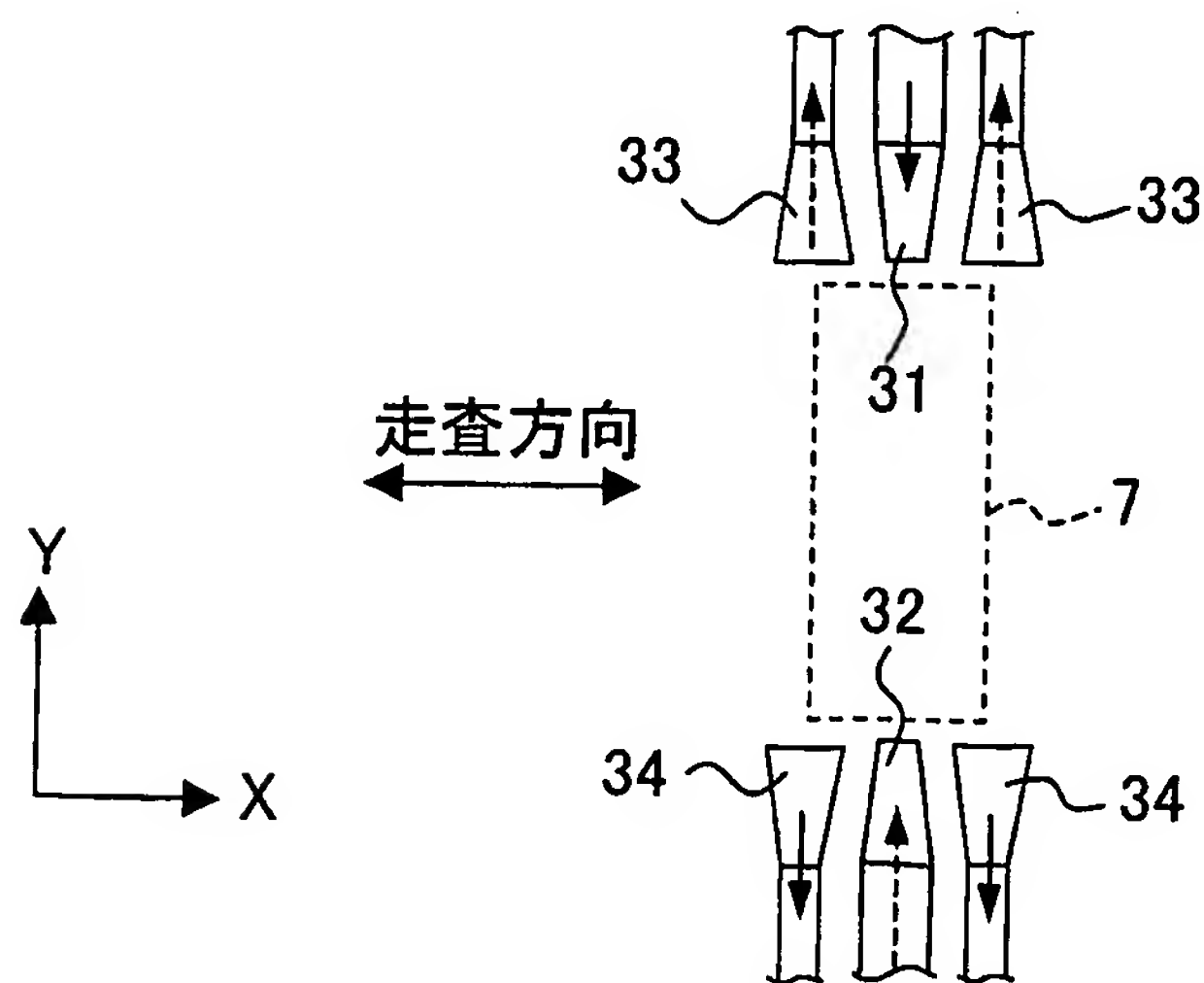
33. 前記液体は水であって、前記液体と接触する部分には、極性の大きい分子構造の物質で薄膜を形成する請求項32に記載の露光方法。

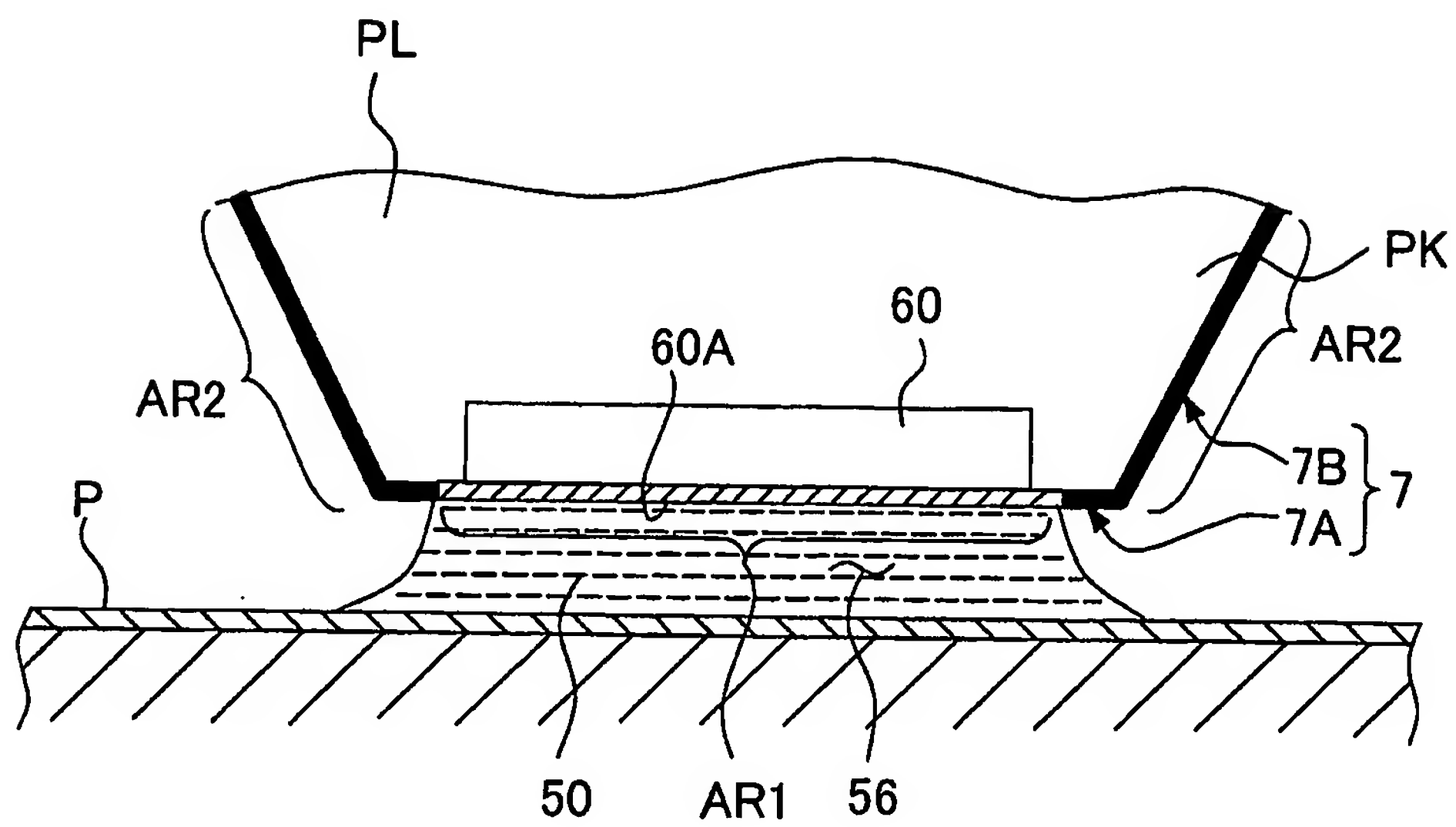
34. 前記液体はフッ素系液体であって、前記液体と接触する部分には、極性の小さい分子構造の物質で薄膜を形成する請求項32に記載の露光方法。

35. 請求項30に記載の露光方法を用いてデバイスを製造することを特徴とするデバイス製造方法。

Fig. 1



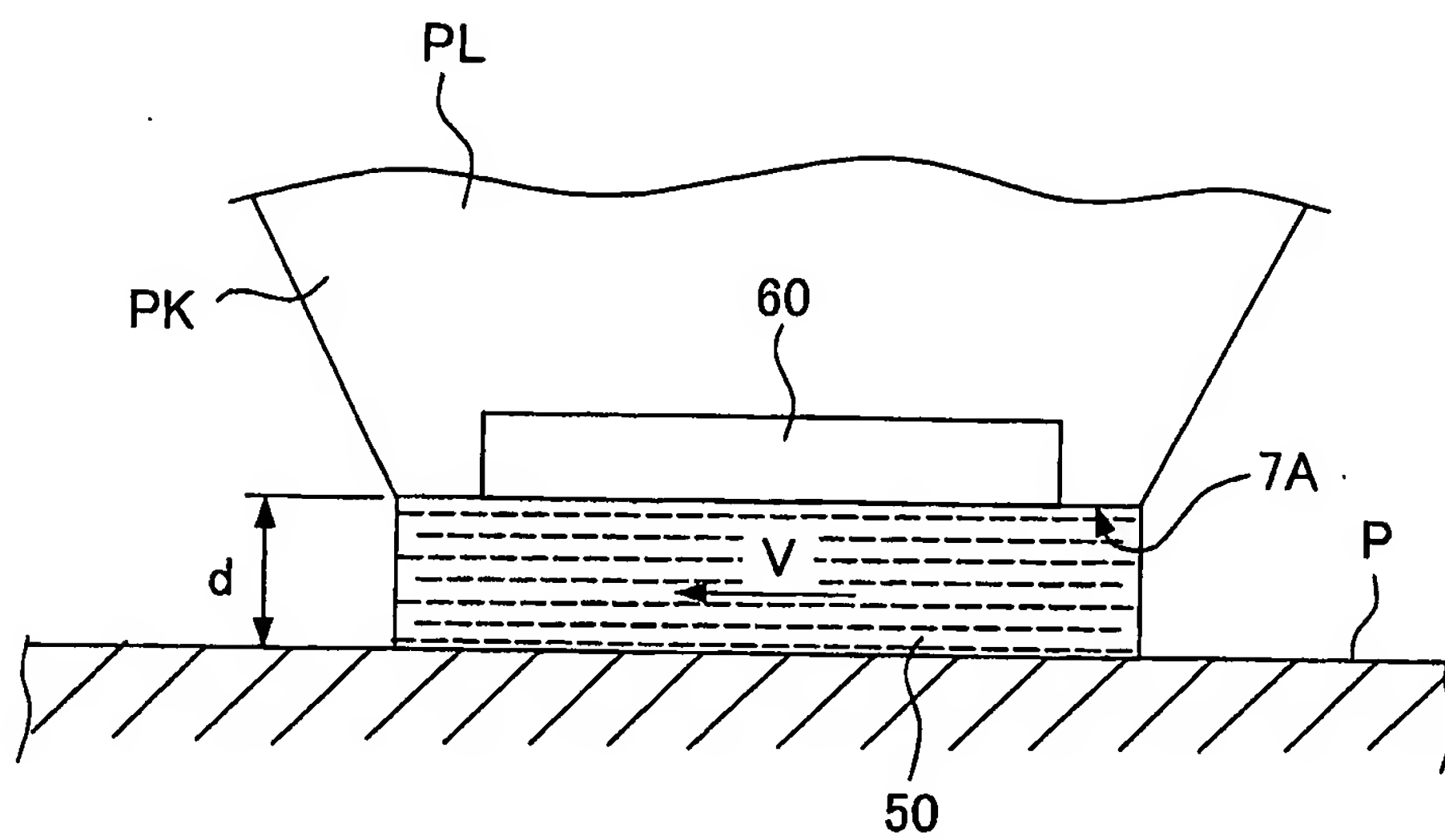
**Fig. 2****Fig. 3**

**Fig. 4**



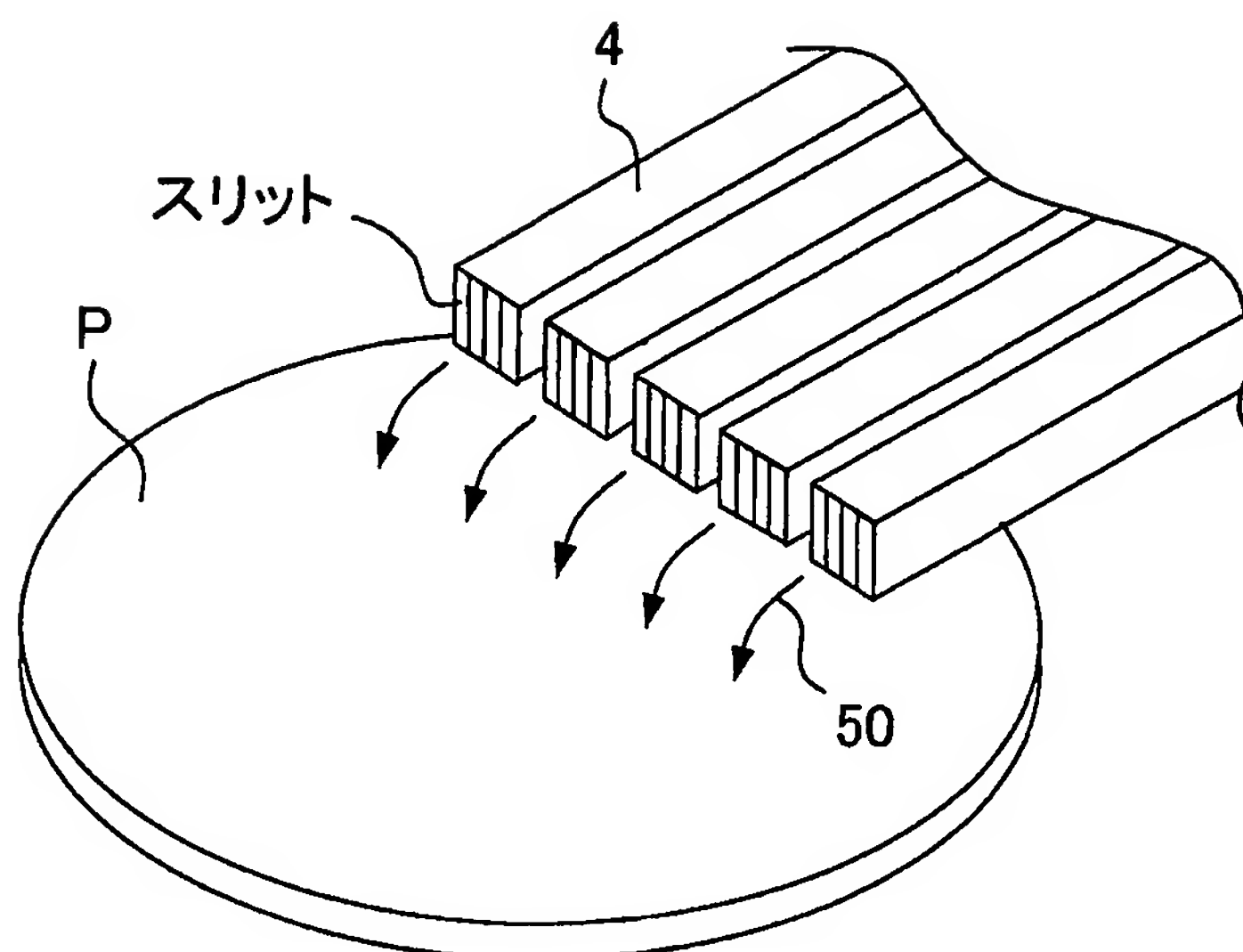




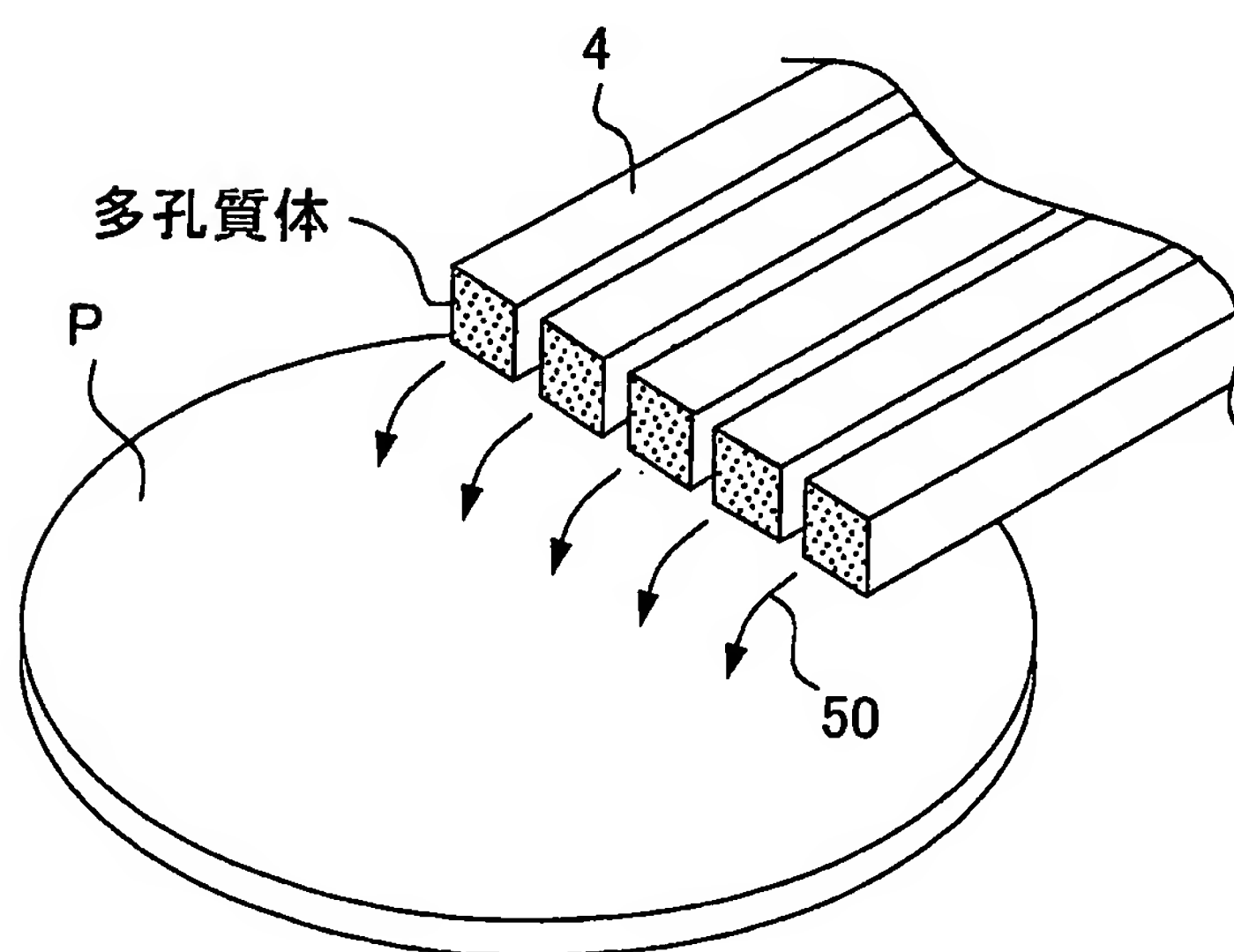
**Fig. 7**

**Fig. 8**

(a)



(b)



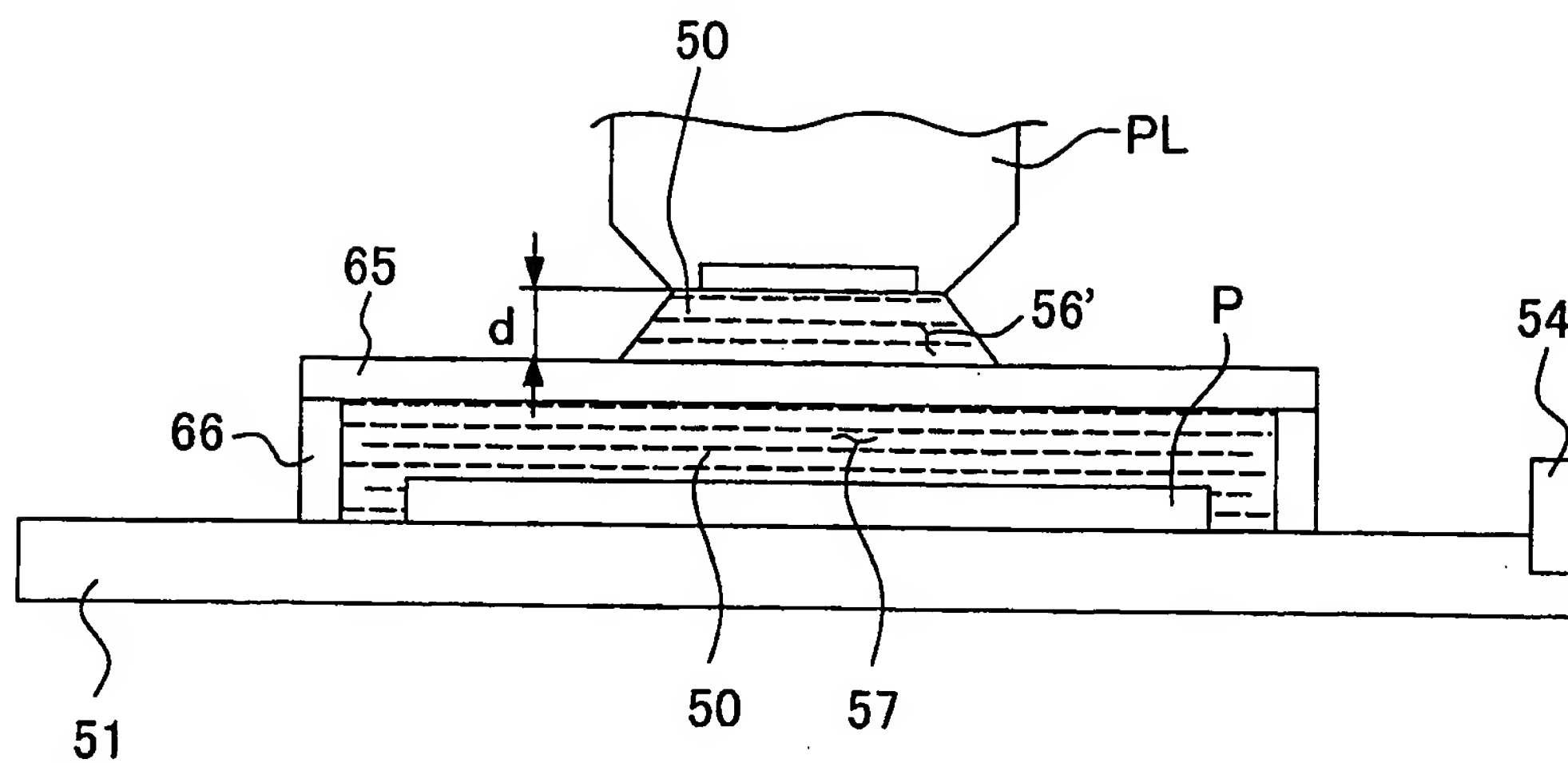
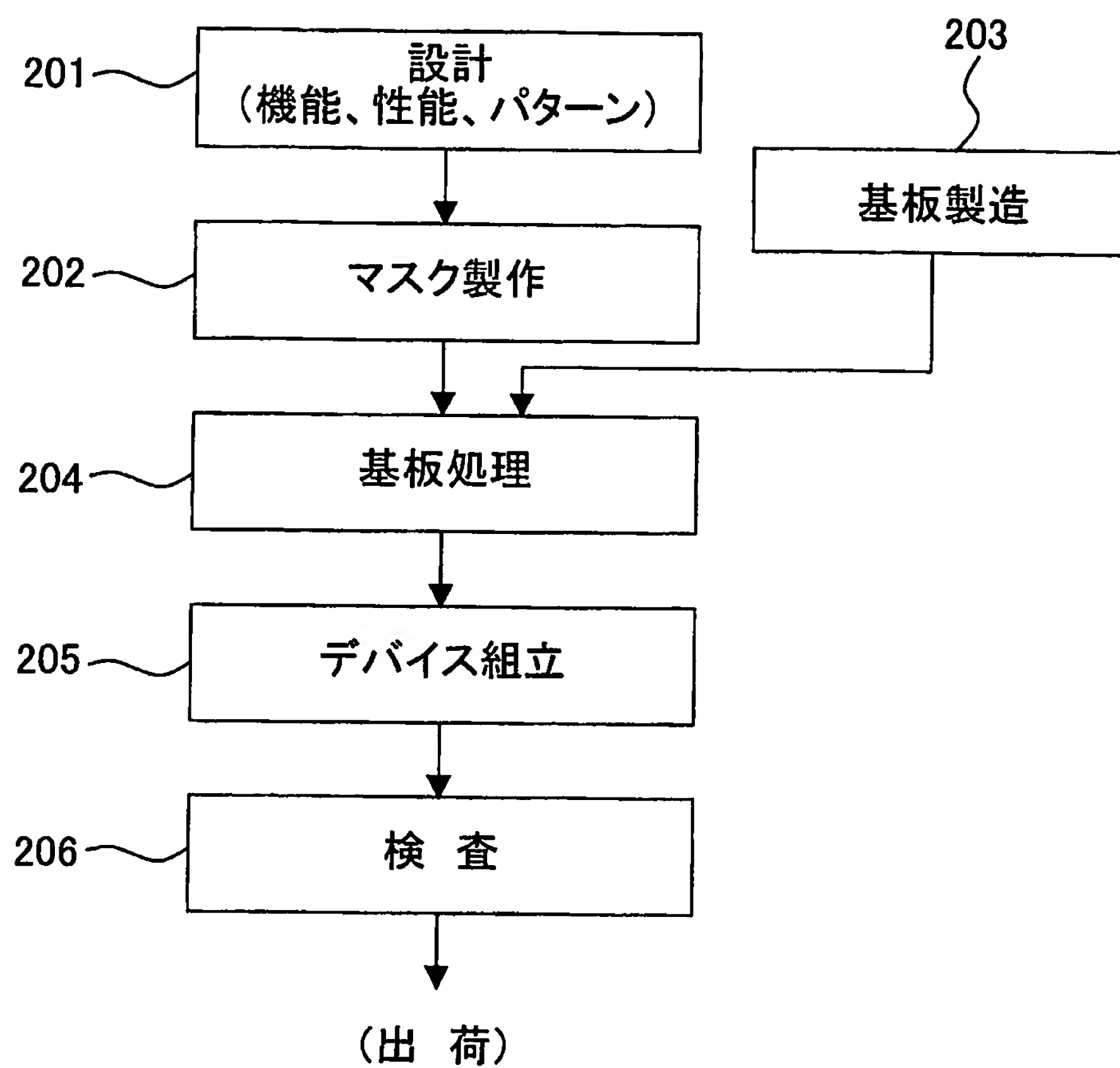
**Fig. 9**



Fig. 10



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/15735

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
Int.Cl<sup>7</sup> H01L21/027, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01L21/027, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 6-124873 A (Canon Inc.), 06 May, 1994 (06.05.94), Claims; Par. No. [0015]; Fig. 1 (Family: none)	1, 29, 30, 35 2-5, 31-34
Y	WO 99/49504 A1 (NIKON CORP.), 30 September, 1999 (30.09.99), Claims; page 5, lines 20 to 21; Fig. 1 & AU 2747999 A	2-5, 31-34
A	JP 62-65326 A (Hitachi, Ltd.), 24 March, 1987 (24.03.87), Full text; all drawings (Family: none)	1-35

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:  
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance  
"E" earlier document but published on or after the international filing date  
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)  
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means  
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention  
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone  
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art  
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
19 March, 2004 (19.03.04)

Date of mailing of the international search report  
06 April, 2004 (06.04.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/15735

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 63-157419 A (Toshiba Corp.), 30 June, 1988 (30.06.88), Full text; all drawings (Family: none)	1-35
A	JP 5-304072 A (NEC Corp.), 16 November, 1993 (16.11.93), Full text; all drawings (Family: none)	1-35
A	JP 6-168866 A (Canon Inc.), 14 June, 1994 (14.06.94), Full text; all drawings (Family: none)	1-35
A	JP 7-220990 A (Hitachi, Ltd.), 18 August, 1995 (18.08.95), Full text; all drawings (Family: none)	1-35
A	JP 10-255319 A (Hitachi Maxell, Ltd.), 25 September, 1998 (25.09.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-35
A	EP 834773 A2 (NIKON CORP.), 08 April, 1998 (08.04.98), Full text; all drawings & JP 10-154659 A & US 5825043 A	1-35
A	JP 10-303114 A (NIKON CORP.), 13 November, 1998 (13.11.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-35
A	JP 10-340846 A (NIKON CORP.), 22 December, 1998 (22.12.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-35
A	JP 11-176727 A (NIKON CORP.), 02 July, 1999 (02.07.99), Full text; all drawings (Family: none)	1-35
A	JP 2000-58436 A (NIKON CORP.), 25 February, 2000 (25.02.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-35

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/15735

## Box I Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

## Box II Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

Claims 1-11, 30-35 relate to adjustment of the affinity.

Claims 12-26 relate to creation of a laminar flow of the liquid between the projection exposure system and the substrate stage.

Claims 27-29 relate to stoppage of the liquid supply.

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl.<sup>7</sup> H01L21/027, G03F7/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl.<sup>7</sup> H01L21/027, G03F7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年  
日本国公開実用新案公報 1971-2004年  
日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 6-124873 A (キヤノン株式会社) 1994.05.06, 特許請求の範囲, 段落0015, 図1 (フ	1, 29, 3
Y	アミリーなし)	0, 35 2-5, 31 -34
Y	WO 99/49504 A1 (株式会社ニコン) 1999.09.30, 特許請求の範囲, 第5頁第20-21行, 図1&AU 2747999 A	2-5, 31 -34

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

\* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日  
19.03.2004

国際調査報告の発送日  
06.4.2004

国際調査機関の名称及びあて先  
日本国特許庁 (ISA/JP)  
郵便番号100-8915  
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
新井 重雄

2M 8605

電話番号 03-3581-1101 内線 3274



C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 62-65326 A (株式会社日立製作所) 1987. 03. 24, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-35
A	JP 63-157419 A (株式会社東芝) 1988. 06. 30, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-35
A	JP 5-304072 A (日本電気株式会社) 1993. 11. 16, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-35
A	JP 6-168866 A (キヤノン株式会社) 1994. 06. 14, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-35
A	JP 7-220990 A (株式会社日立製作所) 1995. 08. 18, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-35
A	JP 10-255319 A (日立マクセル株式会社) 1998. 09. 25, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-35
A	EP 834773 A2 (NIKON CORPORATION) N) 1998. 04. 08, 全文, 全図& JP 10-15465 9 A&US 5825043 A	1-35
A	JP 10-303114 A (株式会社ニコン) 1998. 11. 13, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-35
A	JP 10-340846 A (株式会社ニコン) 1998. 12. 22, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-35
A	JP 11-176727 A (株式会社ニコン) 1999. 07. 02, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-35
A	JP 2000-58436 A (株式会社ニコン) 2000. 02. 25, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-35

## 第 I 欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第 1 ページの 2 の続き)

法第 8 条第 3 項 (PCT 17 条 (2) (a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。  
つまり、
2. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であって PCT 規則 6.4(a) の第 2 文及び第 3 文の規定に従って記載されていない。

## 第 II 欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第 1 ページの 3 の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところこの国際調査機関は認めた。

請求の範囲 1-11, 30-35 は親和性の調整に関するものである。  
請求の範囲 12-26 は投影露光系と基板ステージ間の液体の層流化に関するものである。  
請求の範囲 27-29 は液体の供給停止に関するものである。

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

## 追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。  
☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

**(12) International Application Published Based On Patent Cooperation Treaty**  
**(19) World Intellectual Property Organization**  
**International Bureau**

**(10) International Publication**  
**Number**  
**WO 04/053956 A1**

**(43) International Publication Date:**  
 June 24, 2004

---

<p>(51) International Patent Classification<sup>7</sup>:  <i>H01L 21/027, G03F 7/20</i></p> <p>(21) International Application Number:          PCT/JP03/015735</p> <p>(22) International Application Date: December 9, 2003</p> <p>(25) Language of International Application:          Japanese</p> <p>(26) Language of International Publication:          Japanese</p> <p>(30) Priority Rights Data:          Patent Application 2002-357931          December 10, 2002 JP</p> <p>(71) Applicant (For all designated countries          with the exception of the U.S.): NIKON          CORPORATION [JP/JP]; 3-2-3          Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8331</p> <p>(72) Inventor; and</p> <p>(75) Inventor/Applicant (For the U.S. only):          NAGASAKA, Hiroyuki [JP/JP]; NIKON          CORPORATION, 3-2-3 Marunouchi,          Chiyoda-ku, Tokyo 100-8331 (JP);          MAGOME, Nobutaka [JP/JP]; NIKON          CORPORATION, 3-2-3 Marunouchi,          Chiyoda-ku, Tokyo 100-8331 (JP)</p>	<p>(74) Representative: KAWAKITA, Kijuro; Shinjuku MM          Building Shinjuku 5-1-15. Shinjuku, Tokyo 160-0022 (JP)</p> <p>(81) Designated Country (domestic): AE, AG, AL, AM,          AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,          CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,          FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE,          KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,          MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,          PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,          TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,          ZW.</p> <p>(84) Designated Country (wide area):          ARIPO patents (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL,          SZ, TZ, UG, ZM, ZW)          Eurasia patents (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM)          European patents (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,          ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE,          SI, SK, TR)          OAPI patents (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,          GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</p> <p>Attached Published Documents:          - INTERNATIONAL SEARCH REPORT</p> <p>For two-character codes and other abbreviations, see          "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" noted at          the beginning of each periodically published <i>PCT Gazette</i>.</p>
--	--

---

(54) Exposure apparatus, exposure method, and method for producing device

(57) Abstract: In an exposure apparatus, an exposure of a substrate (P) is carried out by filling at least a portion of the space between a projection optical system (PL) and the substrate (P) with a liquid (50) and projecting the image of a pattern onto the

substrate (P) via the projection optical system (PL). An optical element (60) and a barrel (PK), which are in contact with the liquid (50) when the substrate (P) is moved, are surface-treated for adjusting the affinity with the liquid (50). Consequently, generation of bubbles in the liquid between the projection optical system and the substrate is suppressed and the liquid is always retained between the projection optical system and the substrate, thereby creating a good immersion state.

## SPECIFICATION

Exposure apparatus, exposure method, and method for producing device

### Technical Field

The present invention relates to an exposure apparatus and an exposure method for performing the exposure with an image of a pattern projected by a projection optical system in a state in which at least part of a space between the projection optical system and a substrate is filled with a liquid. The present invention also relates to a method for producing a device.

### Background Art

Semiconductor devices and liquid crystal display devices are produced by the so-called photolithography technique in which a pattern formed on a mask is transferred onto a photosensitive substrate. The exposure apparatus, which is used in the photolithography step, includes a mask stage for supporting the mask and a substrate stage for supporting the substrate. The pattern on the mask is transferred onto the substrate via a projection optical system while successively moving the mask stage and the substrate stage. In recent years, it is demanded to realize the higher resolution of the projection optical system in order to respond to the further advance of the higher integration of the device pattern. As the exposure wavelength to be used is shorter, the resolution of the projection optical system becomes higher. As the numerical aperture of the projection optical system is larger, the resolution of the projection optical system becomes higher. Therefore, the exposure wavelength, which is used for the exposure apparatus, is shortened year by year, and the numerical aperture of the projection optical system is increased as well. The exposure wavelength, which is dominantly used at present, is 248 nm of the KrF excimer laser.



However, the exposure wavelength of 193 nm of the ArF excimer laser, which is shorter than the above, is also practically used in some situations. When the exposure is performed, the depth of focus (DOF) is also important in the same manner as the resolution. The resolution  $R$  and the depth of focus  $\delta$  are represented by the following expressions.

$$R = k_1 \cdot \lambda / NA \quad (1)$$

$$\delta = k_2 \cdot \lambda / NA^2 \quad (2)$$

In the expressions,  $\lambda$  represents the exposure wavelength,  $NA$  represents the numerical aperture of the projection optical system, and  $k_1$  and  $k_2$  represent the process coefficients. According to the expressions (1) and (2), the following fact is appreciated. That is, when the exposure wavelength  $\lambda$  is shortened and the numerical aperture  $NA$  is increased in order to enhance the resolution  $R$ , then the depth of focus  $\delta$  is narrowed.

If the depth of focus  $\delta$  is too narrowed, it is difficult to match the substrate surface with respect to the image plane of the projection optical system. It is feared that the margin is insufficient during the exposure operation. Accordingly, the liquid immersion method has been suggested, which is disclosed, for example, in International Publication No. 99/49504 as a method for substantially shortening the exposure wavelength and widening the depth of focus. In this liquid immersion method, the space between the lower surface of the projection optical system and the substrate surface is filled with a liquid such as water or any organic solvent to utilize the fact that the wavelength of the exposure light beam in the liquid is  $1/n$  as compared with that in the air ( $n$  represents the refractive index of the liquid, which is

about 1.2 to 1.6 in ordinary cases) so that the resolution is improved and the depth of focus is magnified about  $n$  times.

When the exposure is performed while making the liquid flow through the space between the projection optical system and the substrate, or when the exposure is performed while moving the substrate with respect to the projection optical system in a state in which the space between the projection optical system and the substrate is filled with the liquid, then there is a possibility that the liquid may be exfoliated from the projection optical system and/or the substrate. An inconvenience arises such that the pattern image, which is to be transferred to the substrate, is deteriorated. In other cases, the pattern image is deteriorated as well when turbulence appears in the liquid flow when the exposure is performed while making the liquid to flow through the space between the projection optical system and the substrate.

#### Disclosure of the Invention

The present invention has been made taking the foregoing circumstances into consideration, an object of which is to provide an exposure apparatus, an exposure method, and a method for producing a device, in which a pattern can be transferred accurately by arranging a liquid in a desired state when an exposure process is performed while filling a space between a projection optical system and a substrate with the liquid. It is noted that parenthesized numerals or symbols are affixed to respective elements merely by way of example, with which it is not intended to limit the respective elements.

In order to achieve the object as described above, the present invention adopts the following constructions corresponding to FIGS. 1 to 9 as illustrated in embodiments.

According to a first aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus (EX) which exposes a substrate (P) by transferring an image of a pattern through a liquid (50) onto the substrate, the exposure apparatus including a projection optical system (PL) which projects the image of the pattern onto the substrate, wherein a portion (60, PK) of the projection optical system (PL), which makes contact with the liquid (50), is surface-treated to adjust affinity for the liquid (50).

In the exposure apparatus of the present invention, the surface treatment is applied to the portion of the projection optical system (hereinafter appropriately referred to as "liquid contact portion") which makes contact with the liquid in order to adjust the affinity for the liquid. Therefore, the liquid is maintained in a desired state between the projection optical system and the substrate. For example, if the affinity of the liquid contact portion for the liquid is too low, a phenomenon, in which a harmful influence is exerted on the liquid immersion exposure, arises, for example, such that the liquid is exfoliated from the contact portion, and/or a bubble is generated. On the other hand, if the affinity of the liquid contact portion for the liquid is too high, an inconvenience arises in some cases, for example, such that the liquid is spread while causing excessive wetting with respect to the contact portion and the liquid outflows from the space between the projection optical system and the substrate. On the contrary, in the case of the exposure apparatus of the present invention, the affinity is adjusted with respect to the liquid disposed at the liquid contact portion of the projection optical system. Therefore, the liquid immersion state is reliably maintained between the substrate and the projection optical system even in the case of the full field exposure in which the substrate stands still with respect to the exposure light beam during the exposure as well as in the case of the scanning type

exposure apparatus in which the substrate is moved by a movable stage during the exposure.

According to a second aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus (EX) which exposes a substrate (P) by transferring an image of a pattern through a liquid (50) onto the substrate, the exposure apparatus including a projection optical system (PL) which projects the image of the pattern onto the substrate, wherein the projection optical system (PL) has a first surface area (AR1) which includes a surface of an optical element (60) disposed at a tip of the projection optical system, and a second surface area (AR2) which is disposed around the first surface area (AR1); and affinity of the first surface area (AR1) for the liquid (50) is higher than affinity of the second surface area (AR2) for the liquid (50).

According to the present invention, the affinity for the liquid of the first surface area including the optical element disposed at the tip of the projection optical system is made higher than that of the second surface area disposed therearound. Accordingly, the liquid is stably arranged on the optical path for the exposure light beam owing to the first surface area. Further, the liquid is not spread with the wetting to the surroundings owing to the second surface area, and thus does not outflow to the outside. Therefore, the liquid can be stably arranged on the optical path for the exposure light beam even in the case of the full field exposure in which the substrate stands still with respect to the exposure light beam during the exposure as well as in the case of the scanning type exposure in which the substrate is moved with respect to the exposure light beam during the exposure.

According to a third aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus (EX) which exposes a substrate (P) by illuminating a pattern with an exposure beam (EL) and transferring an image of the pattern through a liquid (50) onto the substrate (P), the exposure apparatus including a projection optical system

(PL) which projects the image of the pattern onto the substrate; and a liquid immersion unit (1, 2) which fills, with the liquid (50), at least part of a space between the projection optical system (PL) and the substrate (P), wherein a conditional expression  $(v \cdot d \cdot \rho) / \mu \leq 2,000$  is satisfied provided that  $d$  represents a thickness of the liquid (50),  $v$  represents a velocity of a flow of the liquid (50) between the projection optical system (PL) and the substrate (P),  $\rho$  represents a density of the liquid (50), and  $\mu$  represents a coefficient of viscosity of the liquid (50).

According to the present invention, the conditions, under which the liquid is maintained in at least the part of the space between the projection optical system (PL) and the substrate (P), are set so that the conditional expression described above is satisfied. Accordingly, no turbulence arises in the liquid. Therefore, it is possible to suppress any inconvenience which would be otherwise caused, for example, such that the pattern image to be projected onto the substrate is deteriorated due to the turbulence of the liquid.

According to a fourth aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus (EX) which exposes a substrate (P) by illuminating a pattern of a mask (M) with an exposure beam (EL) and transferring an image of the pattern through a liquid (50) onto the substrate, the exposure apparatus including a projection optical system (PL) which projects the image of the pattern onto the substrate; and a liquid immersion unit (1, 2) which fills, with the liquid, at least part of a space between the projection optical system (PL) and the substrate (P), wherein the liquid (50) flows as a laminar flow in parallel to a scanning direction of the substrate (P).

According to the present invention, the liquid immersion state is controlled by various methods, and thus the liquid flows while forming the laminar flow in parallel to the scanning direction of the substrate during the exposure. Therefore, it is possible to avoid the deterioration of the pattern image to be projected onto the substrate.

Further, no unnecessary vibration is generated, for example, in the projection optical system which makes contact with the liquid as well as in the wafer and the substrate stage which holds the wafer. The flow of the liquid can be made into the laminar flow, for example, by controlling the amount of supply (recovery) of the liquid by the liquid immersion unit, adjusting the structure of the liquid supply nozzle of the liquid immersion unit, and/or adjusting the velocity when the substrate is moved during the exposure.

According to a fifth aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus (EX) which exposes a substrate (P) by illuminating a pattern with an exposure beam (EL) and transferring an image of the pattern through a liquid (50) onto the substrate, the exposure apparatus including a projection optical system (PL) which projects the image of the pattern onto the substrate; a liquid immersion unit (1, 2) which supplies the liquid (50) onto only the substrate (P); and a control unit (CONT) which controls the liquid immersion unit (1, 2), wherein the control unit (CONT) controls the liquid immersion unit (1, 2) so that the supply of the liquid (50) is stopped during the exposure of the substrate (P).

According to the present invention, the liquid immersion unit is controlled such that the liquid is not supplied during the exposure for the substrate. Accordingly, the photosensitive material, which has been applied onto the substrate, is not damaged. It is possible to avoid the deterioration of the pattern to be formed on the substrate. Further, the positional relationship between the projection optical system and the substrate can be stably maintained in a desired state.

According to a sixth aspect of the present invention, there is provided an exposure method for exposing a substrate (P) by projecting an image of a pattern onto the substrate by using a projection optical system (PL), the exposure method including applying a surface treatment to a surface of the substrate (P) before the exposure in



order to adjust affinity for the liquid (50); filling at least part of a space between the projection optical system (PL) and the substrate (P) with the liquid (50); and projecting the image of the pattern onto the substrate (P) through the liquid (50).

According to the present invention, the surface treatment is applied to the surface of the substrate depending on the affinity for the liquid before performing the liquid immersion exposure. Accordingly, the liquid can be maintained on the substrate in a state preferable for the liquid immersion exposure. For example, if the affinity for the liquid is too low, an inconvenience arises, for example, such that the liquid is exfoliated from the surface of the substrate, and/or a bubble is generated. On the other hand, if the affinity for the liquid is too high, any inconvenience arises in some cases, for example, such that the liquid is spread excessively while causing wetting on the substrate. On the contrary, when the appropriate surface treatment is applied to the substrate surface in consideration of the affinity for the liquid as in the exposure method of the present invention, then the liquid can be maintained in a desired state on the substrate, and it is possible to appropriately perform the recovery and the removal of the liquid on the substrate.

#### Brief Description of the Drawings

FIG. 1 shows a schematic arrangement illustrating an embodiment of the exposure apparatus of the present invention.

FIG. 2 shows an example of an arrangement of supply nozzles and recovery nozzles.

FIG. 3 shows an example of an arrangement of supply nozzles and recovery nozzles.

FIG. 4 schematically illustrates areas in which a projection optical system and a substrate are surface-treated.

FIGS. 5(a) to 5(c) schematically illustrate situations in which the liquid flows between a substrate and a projection optical system which are not surface-treated.

FIGS. 6(a) to 6(c) schematically illustrate situations in which the liquid flows between a substrate and a projection optical system which are surface-treated.

FIG. 7 illustrates another embodiment of the present invention.

FIGS. 8(a) and 8(b) show other embodiments of supply nozzles.

FIG. 9 shows a cover glass provided over a substrate.

FIG. 10 shows a flow chart illustrating exemplary steps for producing a semiconductor device.

#### Preferred Embodiment of the Present Invention

An explanation will be made below about the exposure apparatus and the method for producing the device according to the present invention with reference to the drawings. However, the present invention is not limited thereto. FIG. 1 shows a schematic arrangement illustrating an embodiment of the exposure apparatus of the present invention.

With reference to FIG. 1, an exposure apparatus EX includes a mask stage MST which supports a mask M, a substrate stage PST which supports a substrate P, an illumination optical system IL which illuminates, with an exposure light beam EL, the mask M supported by the mask stage MST, a projection optical system PL which performs projection exposure for the substrate P supported by the substrate stage PST with an image of a pattern of the mask M illuminated with the exposure light beam EL, and a control unit CONT which collectively controls the overall operation of the exposure apparatus EX.

The embodiment of the present invention will now be explained with reference to an example in which a scanning type exposure apparatus (so-called scanning stepper) is used as the exposure apparatus EX in which the substrate P is exposed with the pattern formed on the mask M while synchronously moving the mask M and the substrate P in mutually different directions (opposite directions) in the scanning directions. In the following explanation, the Z axis direction is the direction which is coincident with the optical axis AX of the projection optical system PL, the X axis direction is the synchronous movement direction (scanning direction) for the mask M and the substrate P in the plane perpendicular to the Z axis direction, and the Y axis direction is the direction (non-scanning direction) perpendicular to the Z axis direction and the Y axis direction. The directions about the X axis, the Y axis, and the Z axis are designated as  $\theta X$ ,  $\theta Y$ , and  $\theta Z$  directions respectively. The term "substrate" referred to herein includes those obtained by applying a resist on a semiconductor wafer, and the term "mask" includes a reticle formed with a device pattern to be subjected to the reduction projection onto the substrate.

The illumination optical system IL is used so that the mask M, which is supported by the mask stage MST, is illuminated with the exposure light beam EL. The illumination optical system IL includes, for example, an exposure light source, an optical integrator which uniformizes the illuminance of the light flux radiated from the exposure light source, a condenser lens which collects the exposure light beam EL supplied from the optical integrator, a relay lens system, and a variable field diaphragm which sets the illumination area on the mask M illuminated with the exposure light beam EL to be slit-shaped. The predetermined illumination area on the mask M is illuminated with the exposure light beam EL having a uniform illuminance distribution by the illumination optical system IL. Those usable as the exposure light beam EL radiated from the illumination optical system IL include, for example,

emission lines (g-ray, h-ray, i-ray) in the ultraviolet region radiated, for example, from a mercury lamp, far ultraviolet light beams (DUV light beams) such as the KrF excimer laser beam (wavelength: 248 nm), and vacuum ultraviolet light beams (VUV light beams) such as the ArF excimer laser beam (wavelength: 193 nm) and the F<sub>2</sub> laser beam (wavelength: 157 nm). In this embodiment, the ArF excimer laser beam is used.

The mask stage MST supports the mask M. The mask stage MST is two-dimensionally movable in the plane perpendicular to the optical axis AX of the projection optical system PL, i.e., in the XY plane, and it is finely rotatable in the  $\theta Z$  direction. The mask stage MST is driven by a mask stage-driving unit MSTD such as a linear motor. The mask stage-driving unit MSTD is controlled by the control unit CONT. The position in the two-dimensional direction and the angle of rotation of the mask M on the mask stage MST are measured in real-time by a laser interferometer. The result of the measurement is outputted to the control unit CONT. The control unit CONT drives the mask stage-driving unit MSTD based on the result of the measurement obtained by the laser interferometer to thereby position the mask M supported by the mask stage MST.

The projection optical system PL projects the pattern on the mask M onto the substrate P at a predetermined projection magnification  $\beta$  to perform the exposure. The projection optical system PL includes a plurality of optical elements (lenses). The optical elements are supported by a barrel PK formed of a metal member, for example, stainless steel (SUS 403). In this embodiment, the projection optical system PL is a reduction system having the projection magnification  $\beta$  which is, for example, 1/4 or 1/5. The projection optical system PL may be any one of a one to one projection system and a magnifying system. The plane parallel plate (optical element) 60, which is formed of a glass member such as quartz and calcium fluoride (fluorite),

is provided at the tip section 7 on the side of the substrate P of the projection optical system PL of this embodiment. The optical element 60 is provided detachably (exchangeably) with respect to the barrel PK. The tip section 7 of the projection optical system PL includes the optical element 60 and part of the barrel (holding member) PK for holding the same.

The substrate stage PST supports the substrate P. The substrate stage PST includes a Z stage 51 which holds the substrate P by the aid of a substrate holder, an XY stage 52 which supports the Z stage 51, and a base 53 which supports the XY stage 52. The substrate stage PST is driven by a substrate stage-driving unit PSTD such as a linear motor. The substrate stage-driving unit PSTD is controlled by the control unit CONT. When the Z stage 51 is driven, the substrate P, which is held on the Z stage 51, is subjected to the control of the position (focus position) in the Z axis direction and the positions in the  $\theta X$  and  $\theta Y$  directions. When the XY stage 52 is driven, the substrate P is subjected to the control of the position in the XY directions (position in the directions substantially parallel to the image plane of the projection optical system PL). That is, the Z stage 51 controls the focus position and the angle of inclination of the substrate P so that the surface of the substrate P is adjusted to match the image plane of the projection optical system PL in the auto-focus manner and the auto-leveling manner. The XY stage 52 positions the substrate P in the X axis direction and the Y axis direction. The Z stage and the XY stage may be provided as an integrated body.

A movement mirror 54, which is movable together with the substrate stage PST with respect to the projection optical system PL, is provided on the substrate stage PST (Z stage 51). A laser interferometer 55 is provided at a position opposed to the movement mirror 54. The angle of rotation and the position in the two-dimensional direction of the substrate P on the substrate stage PST are measured in

real-time by the laser interferometer 55. The result of the measurement is outputted to the control unit CONT. The control unit CONT drives the substrate stage-driving unit PSTD based on the result of the measurement of the laser interferometer 55 to thereby position the substrate P supported on the substrate stage PST.

In this embodiment, the liquid immersion method is applied in order that the resolution is improved by substantially shortening the exposure wavelength and the depth of focus is substantially widened. Therefore, the space between the surface of the substrate P and the tip section 7 of the projection optical system PL is filled with the predetermined liquid 50 at least during the period in which the image of the pattern on the mask M is transferred onto the substrate P. As described above, the optical element 60 and the part of the barrel PK are arranged at the tip section 7 of the projection optical system PL. The liquid 50 makes contact with the optical element (glass member) 60 and the barrel (metal member) PK. In this embodiment, pure water is used for the liquid 50. The exposure light beam EL, which is not limited to only the ArF excimer laser beam, can be transmitted through pure water, even when the exposure light beam EL is, for example, the emission line (g-ray, h-ray, i-ray) in the ultraviolet region radiated, for example, from a mercury lamp or the far ultraviolet light beam (DUV light beam) such as the KrF excimer laser beam (wavelength: 248 nm).

The exposure apparatus EX includes a liquid supply unit (liquid immersion unit, supply unit) 1 which supplies the predetermined liquid 50 to a space 56 between the substrate P and the tip section 7 of the projection optical system PL, and a liquid recovery unit (liquid immersion unit, recovery unit) 2 which recovers the liquid 50 from the space 56. The liquid supply unit 1 is provided to allow the liquid 50 to flow in parallel to the scanning direction of the substrate P to at least part of the space between the projection optical system PL and the substrate P. The liquid supply unit



1 includes, for example, a tank for accommodating the liquid 50, and a pressurizing pump. One end of a supply tube 3 is connected to the liquid supply unit 1. Supply nozzles 4 are connected to the other end of the supply tube 3. The liquid supply unit 1 supplies the liquid 50 to the space 56 through the supply tube 3 and the supply nozzles 4.

The liquid recovery unit 2 includes, for example, a suction pump, and a tank for accommodating the recovered liquid 50. One end of a recovery tube 6 is connected to the liquid recovery unit 2. Recovery nozzles 5 are connected to the other end of the recovery tube 6. The liquid recovery unit 2 recovers the liquid 50 from the space 56 through the recovery nozzles 5 and the recovery tube 6. When the space 56 is filled with the liquid 50, then the control unit CONT drives the liquid supply unit 1 so that the liquid 50, which is in a predetermined amount per unit time, is supplied to the space 56 through the supply tube 3 and the supply nozzles 4, and the control unit CONT drives the liquid recovery unit 2 so that the liquid 50, which is in a predetermined amount per unit time, is recovered from the space 56 through the recovery nozzles 5 and the recovery tube 6. Accordingly, the liquid 50 is retained in the space 56 between the substrate P and the tip section 7 of the projection optical system PL.

During the scanning exposure, a pattern image of part of the mask M is projected onto the rectangular projection area disposed just under an end surface 60A. The mask M is moved at the velocity V in the -X direction (or in the +X direction) with respect to the projection optical system PL, in synchronization with which the substrate P is moved at the velocity  $\beta \cdot V$  ( $\beta$  is the projection magnification) in the +X direction (or in the -X direction) by the aid of the XY stage 52. After the completion of the exposure for one shot area, the next shot area is moved to the scanning start position in accordance with the stepping of the substrate P. The exposure process is

successively performed thereafter for each of the shot areas in the step-and-scan manner. This embodiment is designed so that the liquid 50 is allowed to flow in the same direction as the movement direction of the substrate in parallel to the movement direction of the substrate P.

FIG. 2 shows the positional relationship among the tip section 7 of the projection optical system PL, the supply nozzles 4 (4A to 4C) for supplying the liquid 50 in the X axis direction, and the recovery nozzles 5 (5A, 5B) for recovering the liquid 50. In FIG. 2, the tip section 7 (end surface 60A of the optical element 60) has a rectangular shape which is long in the Y axis direction. The three supply nozzles 4A to 4C are arranged on the side in the +X direction, and the two recovery nozzles 5A, 5B are arranged on the side in the -X direction so that the tip section 7 of the projection optical system PL is interposed thereby in the X axis direction. The supply nozzles 4A to 4C are connected to the liquid supply unit 1 through the supply tube 3, and the recovery nozzles 5A, 5B are connected to the liquid recovery unit 2 through the recovery tube 4. Further, the supply nozzles 8A to 8C and the recovery nozzles 9A, 9B are arranged at positions obtained by rotating, by substantially 180°, the positions of the supply nozzles 4A to 4C and the recovery nozzles 5A, 5B about the center of the tip section 7. The supply nozzles 4A to 4C and the recovery nozzles 9A, 9B are alternately arranged in the Y axis direction. The supply nozzles 8A to 8C and the recovery nozzles 5A, 5B are alternately arranged in the Y axis direction. The supply nozzles 8A to 8C are connected to the liquid supply unit 1 through the supply tube 10. The recovery nozzles 9A, 9B are connected to the liquid recovery unit 2 through the recovery tube 11. The liquid is supplied from the nozzles so that no gas portion is formed between the projection optical system PL and the substrate P.

As shown in FIG. 3, the supply nozzles 31, 32 and the recovery nozzles 33, 34 may be also provided on the both sides in the Y direction with the tip section 7

intervening therebetween. The supply nozzles and the recovery nozzles can be used to stably supply the liquid 50 to the space between the projection optical system PL and the substrate P even during the movement of the substrate P in the non-scanning direction (Y axis direction) when the stepping movement is performed.

The shape of the nozzle is not specifically limited. For example, two pairs of the nozzles may be used to supply or recover the liquid 50 for the long side of the tip section 7. In this arrangement, the supply nozzles and the recovery nozzles may be arranged while being aligned vertically in order that the liquid 50 can be supplied and recovered in either the +X direction or the -X direction.

FIG. 4 shows a magnified view illustrating those disposed in the vicinity of the tip section 7 of the projection optical system PL. As shown in FIG. 4, the surface treatment, which depends on the affinity for the liquid 50, is applied to the tip section 7 of the projection optical system PL. The tip section 7 is a portion to make contact with the liquid 50 when the substrate P is moved in the scanning direction (X axis direction) in order to perform the scanning exposure. The tip section 7 includes a lower surface 7A of the projection optical system PL which includes the lower surface 60A of the optical element 60 and part of the lower surface of the barrel PK, and a side surface 7B of part of the barrel PK which is adjacent to the lower surface 7A. In this embodiment, the liquid 50 is water. Therefore, the surface treatment, which is in conformity with the affinity for water, is applied to the tip section 7.

The surface treatment, which is applied to the tip section 7 of the projection optical system PL, is performed in mutually different manners for a first surface area AR1 which includes the surface (lower surface) 60A of the optical element 60 and a portion of the lower surface of the barrel PK, and for a second surface area AR2 which is disposed around the first surface area AR1 and which includes the remaining area of the lower surface of the barrel PK and the side surface of the barrel PK.

Specifically, the surface treatment is applied to the first and second surface areas AR1, AR2 so that the affinity of the first surface area AR1 for the liquid (water) 50 is higher than the affinity of the second surface area AR2 for the liquid (water) 50. In this embodiment, a lyophilic or liquid-attracting treatment (hydrophilic or water-attracting treatment) to give the lyophilicity or liquid-attracting property is applied to the first surface area AR1 including the optical element 60, and a lyophobic or liquid-repelling treatment (hydrophobic or water-repelling treatment) to give the lyophobicity or liquid-repelling property is applied to the second surface area AR2. The lyophilic or liquid-attracting treatment refers to a treatment to increase the affinity for the liquid. The lyophobic or liquid-repelling treatment refers to a treatment to decrease the affinity for the liquid.

The surface treatment is performed depending on the polarity of the liquid 50. In this embodiment, the liquid 50 is water having large polarity. Therefore, the hydrophilic treatment, which is to be applied to the first surface area AR1 including the optical element 60, is performed by forming a thin film with a substance such as alcohol having a molecular structure of large polarity. Accordingly, the hydrophilicity is given to the first surface area AR1. Alternatively, for example, an O<sub>2</sub> plasma treatment, in which the plasma treatment is performed by using oxygen (O<sub>2</sub>) as a treatment gas, is applied to the barrel PK and the lower surface 60A of the optical element 60 in the first surface area AR1. Accordingly, oxygen molecules (or oxygen atoms), which have strong polarity, are gathered on the surface, and thus it is possible to impart hydrophilicity. As described above, when water is used as the liquid 50, it is desirable to perform the treatment for arranging, on the surface, those having the molecular structure with the large polarity such as the OH group in the first surface area AR1. The first surface area AR1 includes the optical element 60 as a glass member and the barrel PK as a metal member. Therefore, when the hydrophilic

treatment is performed, it is possible to perform different surface treatments, for example, such that thin films are formed with different substances for the glass member and the metal member. Of course, the same surface treatment may be applied to the glass member and the metal member in the first surface area AR1. When the thin film is formed, it is possible to use techniques including, for example, the application and the vapor deposition.

On the other hand, the water-repelling treatment is applied to the second surface area AR2 including the surface of the barrel PK. The water-repelling treatment, which is to be applied to the second surface area AR2, is performed by forming a thin film with a substance having a molecular structure of small polarity including, for example, fluorine. Accordingly, the water-repelling property is given to the second surface area AR2. Alternatively, the water-repelling property can be given by applying a CF<sub>4</sub> plasma treatment in which the plasma treatment is performed by using carbon tetrafluoride (CF<sub>4</sub>) as a treatment gas. It is also possible to use techniques including, for example, the application and the vapor deposition when the thin film is formed in the second surface area AR2.

In this embodiment, the surface treatment is also applied to the surface of the substrate P in conformity with the affinity for the liquid 50. In this case, the hydrophilic or water-attracting treatment is applied to the surface of the substrate P. As for the hydrophilic treatment for the substrate P, the lyophilicity is given to the surface of the substrate P, for example, by forming a thin film with a substance such as alcohol having a molecular structure of large polarity as described above. When the surface of the substrate P is surface-treated by applying alcohol or the like, it is desirable to provide a washing step of washing the applied film in the step after the exposure and before the subsequent application of the photosensitive material, for example, before transporting the substrate to a developer/coater.

When the affinity of the first surface area AR1 for the liquid 50 is higher than the affinity of the second surface area AR2 for the liquid 50, the liquid 50 is stably retained in the first surface area AR1.

In this embodiment, the thin film, which is to be used for the surface treatment, is formed of a material which is insoluble in the liquid 50. The thin film, which is formed on the optical element 60, is to be arranged on the optical path for the exposure light beam EL. Therefore, the thin film is formed of a material through which the exposure light beam EL is transmissive. The film thickness is set to such an extent that the exposure light beam EL is transmissive therethrough as well.

Next, an explanation will be made about the operation for exposing the substrate P with the pattern of the mask M by using the exposure apparatus EX described above.

When the mask M is loaded on the mask stage MST, and the substrate P is loaded on the substrate stage PST, then the control unit CONT drives the liquid supply unit 1 to start the liquid supply operation to the space 56. The liquid supply unit 1 supplies the liquid 50 to the space 56 along with the direction of movement of the substrate P. For example, when the scanning exposure is performed by moving the substrate P in the scanning direction (-X direction) indicated by the arrow Xa (see FIG. 2), the liquid 50 is supplied and recovered with the liquid supply unit 1 and the liquid recovery unit 2 by using the supply tube 3, the supply nozzles 4A to 4C, the recovery tube 4, and the recovery nozzles 5A, 5B. That is, when the substrate P is moved in the -X direction, then the liquid 50 is supplied to the space between the projection optical system PL and the substrate P from the liquid supply unit 1 through the supply tube 3 and the supply nozzles 4 (4A to 4C), and the liquid 50 is recovered to the liquid recovery unit 2 through the recovery nozzles 5 (5A, 5B) and the recovery tube 6. The liquid 50 flows in the -X direction so that the space between the lens 60



and the substrate P is filled therewith. On the other hand, when the scanning exposure is performed by moving the substrate P in the scanning direction (+X direction) indicated by an arrow Xb, then the liquid 50 is supplied and recovered with the liquid supply unit 1 and the liquid recovery unit 2 by using the supply tube 10, the supply nozzles 8A to 8C, the recovery tube 11, and the recovery nozzles 9A, 9B. That is, when the substrate P is moved in the +X direction, then the liquid 50 is supplied from the liquid supply unit 1 to the space between the projection optical system PL and the substrate P through the supply tube 10 and the supply nozzles 8 (8A to 8C), and the liquid 50 is recovered to the liquid recovery unit 2 through the recovery nozzles 9 (9A, 9B) and the recovery tube 11. The liquid 50 flows in the +X direction so that the space between the lens 60 and the substrate P is filled therewith. As described above, the control unit CONT makes the liquid 50 flow in accordance with the movement direction of the substrate P by using the liquid supply unit 1 and the liquid recovery unit 2. In this arrangement, for example, the liquid 50, which is supplied from the liquid supply unit 1 through the supply nozzles 4, flows so that the liquid 50 is attracted and introduced into the space 56 in accordance with the movement of the substrate P in the -X direction. Therefore, even when the supply energy of the liquid supply unit 1 is small, the liquid 50 can be supplied to the space 56 with ease. When the direction, in which the liquid 50 is made to flow, is switched depending on the scanning direction, then it is possible to fill the space between the substrate P and the tip surface 7 of the lens 60 with the liquid 50, and it is possible to obtain the high resolution and the wide depth of focus, even when the substrate P is scanned in any one of the +X direction and the -X direction.

In view of the above, it is now assumed that the surface treatment is not applied to the projection optical system PL and the substrate P. FIG. 5 schematically shows the flow of the liquid 50 in a state in which the surface treatment is not applied.

In this case, it is assumed that the surface of the projection optical system PL and the surface of the substrate P have low affinities for the liquid 50.

FIG. 5(a) shows a state in which the substrate stage PST is stopped. The liquid 50 is supplied from the supply nozzles 4, and the liquid 50 is recovered by the recovery nozzles 5. In this situation, the affinity is low between the liquid 50 and the substrate P, and hence the contact angle  $\theta$  is large. FIG. 5(b) shows a state in which the substrate P starts the movement in the X axis direction by the aid of the substrate stage PST. The liquid 50 is deformed as if the liquid 50 is pulled by the moving substrate P. The liquid 50 tends to be separated from the surface of the substrate P, because the affinity is low between the liquid 50 and the substrate P. FIG. 5(c) shows a state in which the movement velocity of the substrate P on the substrate stage PST is further increased. An exfoliation area (bubble) H1 is formed between the substrate P and the liquid 50, and an exfoliation area H2 is also formed between the optical element 60 and the liquid 50. When the exfoliation areas H1, H2 are formed on the optical path for the exposure light beam EL, the pattern of the mask M is not transferred correctly to the substrate P.

FIG. 6 schematically shows the flow of the liquid 50 in a state in which the tip section 7 of the projection optical system P and the surface of the substrate P are surface-treated as explained with reference to FIG. 4.

FIG. 6(a) shows a situation in which the substrate stage PST is stopped. The contact angle  $\theta$  is small, because the affinity is enhanced between the liquid 50 and the substrate P by applying the surface treatment. FIG. 6(b) shows a state in which the substrate P starts the movement in the X axis direction by the aid of the substrate stage PST. Even when the substrate P is moved, the liquid 50 is not pulled excessively by the substrate P, because the affinity is high between the liquid 50 and the substrate P. Further, the liquid 50 is not exfoliated from the first surface area

AR1, because the affinity of the first surface area AR1 of the projection optical system PL is also high with respect to the liquid 50. In this situation, the circumference of the first surface area AR1 is surrounded by the second surface area AR2 which has the low affinity for the liquid 50. Therefore, the liquid 50 in the space 56 does not outflow to the outside, and the liquid 50 is stably arranged in the space 56. FIG. 6(c) shows a state in which the movement velocity of the substrate P on the substrate stage PST is further increased. Even when the movement velocity of the substrate P is increased, no exfoliation occurs between the liquid 50 and the projection optical system PL and the substrate P, because the surface treatment is applied to the projection optical system PL and the substrate P.

As explained above, the surface treatment, which is in conformity with the affinity for the liquid 50, is applied to the surface of the substrate P and the tip section 7 of the projection optical system PL as the portions to make contact with the liquid 50 during the exposure process based on the liquid immersion method. Accordingly, it is possible to suppress the occurrence of inconveniences including, for example, the exfoliation of the liquid 50 and the generation of the bubble, and it is possible to stably arrange the liquid 50 between the projection optical system PL and the substrate P. Therefore, it is possible to maintain satisfactory pattern transfer accuracy.

The surface treatment, which depends on the affinity for the liquid 50, may be applied to only any one of the tip section 7 of the projection optical system PL and the surface of the substrate P.

The foregoing embodiment has been explained such that the surface 60A of the optical element 60 and a portion of the lower surface of the barrel (holding member) PK are designated as the first surface area AR1, and the surface treatment is applied to the first surface area AR1 so that the affinity for the liquid 50 is enhanced. That is, the explanation has been made assuming that the boundary between the

lyophilic or liquid-attracting treatment area and the lyophobic or liquid-repelling treatment area exists on the lower surface of the barrel PK. However, the boundary may be set on the surface of the optical element 60. That is, it is also allowable that the liquid-attracting treatment is applied to part of the area of the optical element 60 (at least an area through which the exposure light beam passes), and the liquid-repelling treatment is applied to the remaining area. Of course, it is also allowable that the boundary between the liquid-attracting treatment area and the liquid-repelling treatment area may be coincident with the boundary between the optical element 60 and the barrel PK. That is, it is also allowable that the liquid-attracting treatment is applied to only the optical element 60. Further, there is no limitation to the setting of the boundary on the lower surface 7A of the projection optical system PL. All of the lower surface 7A of the projection optical system PL may be subjected to the liquid-attracting treatment.

Further, when the surface treatment is performed, it is also possible to allow the lyophilicity (lyophobicity) to have a distribution. In other words, the surface treatment can be performed such that the contact angle of the liquid has mutually different values for a plurality of areas on the surface subjected to the surface treatment. Alternatively, lyophilic areas and lyophobic areas may be appropriately arranged in a divided manner.

The thin film, which is to be used for the surface treatment, may be a single layer film or a film composed of a plurality of layers. As for the material for forming the film, it is possible to use arbitrary materials provided that the material exhibits desired performance, including, for example, metals, metal compounds, and organic matters.

For example, the thin film formation and the plasma treatment are effective for the surface treatment for the optical element 60 and the substrate P. However, in

relation to the surface treatment for the barrel PK as the metal member, it is possible to adjust the affinity for the liquid by any physical technique including, for example, the rough surface treatment for the surface of the barrel PK.

In the embodiment described above, the surface of the substrate P is made lyophilic (subjected to the liquid-attracting treatment) while giving much weight to the stable retention of the liquid between the projection optical system PL and the substrate P. However, when recovery and removal of the liquid from the surface of the substrate P are focused, the surface of the substrate P may be made lyophobic (subjected to the liquid-repelling treatment).

In the embodiment described above, the surface treatment, which is in conformity with the affinity for the liquid 50, is applied to the tip section 7 of the projection optical system PL and the surface of the substrate P. However, it is also allowable that a liquid, which is in conformity with the affinity for at least one of the tip section 7 of the projection optical system PL and the surface of the substrate P, is supplied from the liquid supply unit 1.

As described above, pure water is used as the liquid 50 in this embodiment. Pure water is advantageous in that pure water is readily available in large amounts, for example, in the semiconductor production factory, and pure water exerts no harmful influence, for example, on the optical element (lens) and the photoresist on the substrate P. Further, pure water exerts no harmful influence on the environment, and the content of impurity is extremely low. Therefore, it may also be possible to wash the surface of the substrate P and the surface of the optical element provided at the tip surface of the projection optical system PL.

It is approved that the refractive index  $n$  of pure water (water) with respect to the exposure light beam EL having a wavelength of about 193 nm is approximately in an extent of 1.44 to 1.47. When the ArF excimer laser beam (wavelength: 193 nm) is

used as the light source of the exposure light beam EL, then the wavelength is shortened on the substrate P by  $1/n$ , i.e., to about 131 to 134 nm, and a high resolution is obtained. Further, the depth of focus is magnified about  $n$  times, i.e., about 1.44 to 1.47 times as compared with the value obtained in the air. Therefore, when it is enough to secure an approximately equivalent depth of focus as compared with the case of the use in the air, it is possible to further increase the numerical aperture of the projection optical system PL, which also leads to improvement of the resolution.

In this embodiment, the plane parallel plate is attached as the optical element 60 to the tip of the projection optical system PL. However, the optical element, which is attached to the tip of the projection optical system PL, may be an optical plate which is usable to adjust the optical characteristics of the projection optical system PL, for example, the aberration (for example, spherical aberration and comatic aberration), or the optical element may be a lens. On the other hand, when the optical element, which makes contact with the liquid 50, is the plane parallel plate which is cheaper than the lens, it is sufficient that the plane parallel plate is merely exchanged immediately before supplying the liquid 50 even when any substance (for example, any silicon-based organic matter), which deteriorates the transmittance of the projection optical system PL, the illuminance of the exposure light beam EL on the substrate P, and the uniformity of the illuminance distribution, is adhered to the plane parallel plate, for example, during the transport, the assembling, and/or the adjustment of the exposure apparatus EX. An advantage is obtained such that the exchange cost is lowered as compared with the case in which the optical element to make contact with the liquid 50 is the lens. That is, the surface of the optical element to make contact with the liquid 50 is dirtied, for example, due to the adhesion of scattered particles generated from the resist by being irradiated with the exposure light beam EL or any impurity contained in the liquid 50. Therefore, it is necessary to



periodically exchange the optical element. However, when the optical element is a cheap plane parallel plate, then the cost of the replacement part is low as compared with the lens, and it is possible to shorten the time required for the exchange. Thus, it is possible to suppress the increase in the maintenance cost (running cost) and the decrease in the throughput.

When the pressure, which is generated by the flow of the liquid 50, is large between the substrate P and the optical element disposed at the tip of the projection optical system PL, it is also allowable that the optical element is tightly fixed so that the optical element is not moved by the pressure, rather than allowing the optical element to be exchangeable.

The liquid 50 is water in the embodiment described above. However, the liquid 50 may be any liquid other than water. For example, when the light source of the exposure light beam EL is the F<sub>2</sub> laser, the F<sub>2</sub> laser beam is not transmitted through water. Therefore, in this case, those preferably usable as the liquid 50 may include, for example, fluorine-based oil (fluorine-based liquid) and perfluoropolyether (PFPE) through which the F<sub>2</sub> laser beam is transmissive. In this case, the surface of the substrate P and the portion of the projection optical system PL to make contact with the liquid 50 are subjected to the liquid-attracting treatment by forming the thin film, for example, with a substance having a molecular structure of small polarity including fluorine. Alternatively, other than the above, it is also possible to use, as the liquid 50, those (for example, cedar oil) which have the transmittance with respect to the exposure light beam EL, which have the refractive index as high as possible, and which are stable against the photoresist applied to the surface of the substrate P and the projection optical system PL. Also in this case, the surface treatment is performed depending on the polarity of the liquid 50 to be used.

Next, an explanation will be made with reference to FIG. 7 about a second embodiment of the present invention.

An exposure apparatus EX of this embodiment is designed such that the following conditional expression is satisfied provided that  $d$  represents a thickness of the liquid 50 between the lower surface 7A of the projection optical system PL and the surface of the substrate P (in this case, the spacing distance between the projection optical system PL and the substrate P),  $v$  represents a velocity of a flow of the liquid 50 between the projection optical system PL and the substrate P,  $\rho$  represents a density of the liquid 50, and  $\mu$  represents a coefficient of viscosity of the liquid 50:

$$(v \cdot d \cdot \rho) / \mu \leq 2,000 \quad (3)$$

Accordingly, the liquid 50 flows as a laminar flow in the space 56. As for the liquid 50, it is also assumed that a plurality of different flow velocities  $v$  exist depending on the position in the liquid. However, it is enough that the maximum velocity  $V_{\max}$  thereof satisfies the expression (3).

The control unit CONT adjusts at least one of the amount of supply of the liquid per unit time to the space 56 by the aid of the liquid supply unit 1 and the amount of recovery of the liquid per unit time from the space 56 by the aid of the liquid recovery unit 2 so that the conditional expression (3) is satisfied. Accordingly, the velocity  $v$  of the liquid 50 to flow through the space 56 is determined, and it is possible to satisfy the conditional expression (3). When the conditional expression (3) is satisfied, the liquid 50 flows through the space 56 while forming the laminar flow.

Alternatively, the control unit CONT can also satisfy the conditional expression (3) by adjusting the movement velocity in the scanning direction of the substrate P by the substrate stage PST. That is, the velocity  $v$  of the liquid 50 flowing through the space 56 is also determined by the movement velocity of the substrate P

in some cases. That is, there is a possibility that the liquid 50 on the substrate P may flow such that the liquid 50 is pulled by the substrate P in accordance with the movement of the substrate P. In this case, the conditional expression (3) can be satisfied by adjusting the movement velocity of the substrate P. For example, when the substrate P and the liquid 50 flow or move at approximately identical velocities with respect to the projection optical system PL, it is appropriate that the movement velocity of the substrate P may be regarded as the velocity  $v$  of the liquid 50 to satisfy the conditional expression (3). Also in this case, the liquid 50 flows through the space 56 while forming the laminar flow. Further, in this case, it is not necessarily indispensable to operate the liquid supply unit 1 and the liquid recovery unit 2 during the exposure for the substrate P. The flow of the liquid 50 can be made to be the laminar flow by adjusting only the movement velocity of the substrate P.

In order to satisfy the conditional expression (3), the thickness  $d$  of the liquid 50 (i.e., the spacing distance between the projection optical system PL and the substrate P) may be previously set as a designed value for the exposure apparatus, and the velocity  $v$  may be determined based on this value. Alternatively, the velocity  $v$  may be previously set as a designed value, and the thickness (distance)  $d$  may be determined based on this value.

In order that the liquid 50 flows while forming the laminar flow in the space 56, for example, slits may be provided at openings of the supply nozzles 4 connected to the liquid supply unit 1 as shown in FIG. 8(a), or porous members are provided at openings of the supply nozzles 4 as shown in FIG. 8(b). Accordingly, the liquid 50 can be rectified to flow in the laminar flow state.

When the liquid 50 flows as the laminar flow, it is possible to suppress inconveniences such as the vibration and the change in the refractive index which would be otherwise caused by the fluctuation of the pressure. Thus, it is possible to

maintain satisfactory pattern transfer accuracy. Further, when the surface treatment is applied to the surface of the substrate P and the portion of the projection optical system PL to make contact with the liquid 50, and the exposure apparatus EX is set so that the conditional expression (3) is satisfied to perform the exposure process, then the liquid 50 in the space 56 is established to be in a satisfactory state in which no influence is exerted on the pattern transfer accuracy.

In the embodiment described above, the exposure apparatus is adopted, in which the space between the projection optical system PL and the substrate P is locally filled with the liquid. However, the present invention is also applicable to a liquid immersion exposure apparatus in which a stage holding a substrate as an exposure objective is moved in a liquid bath, and a liquid immersion exposure apparatus in which a liquid pool having a predetermined depth is formed on a stage and a substrate is held therein. The structure and the exposure operation of the liquid immersion exposure apparatus in which the stage holding the substrate as the exposure objective is moved in the liquid bath are disclosed, for example, in Japanese Patent Application Laid-open No. 6-124873, content of which is incorporated herein by reference within a range of permission of the domestic laws and ordinances of the state designated or selected in this international application. The structure and the exposure operation of the liquid immersion exposure apparatus in which the liquid pool having the predetermined depth is formed on the stage and the substrate is held therein are disclosed, for example, in Japanese Patent Application Laid-open No. 10-303114 and U.S. Pat. No. 5,825,043, contents of which are incorporated herein by reference as far as allowed by the domestic laws and ordinances of the state designated or selected in this international application.

In the embodiment described above, the liquid supply unit 1 and the liquid recovery unit 2 are used to continue the supply and the recovery of the liquid 50

during the exposure for the substrate P as well. However, it is also allowable to stop the supply and the recovery of the liquid 50 by the liquid supply unit 1 and the liquid recovery unit 2 during the exposure for the substrate P. That is, a small amount of the liquid 50 is supplied by the liquid supply unit 1 onto the substrate P to such an extent that the liquid immersion portion, which has a thickness of not more than the working distance of the projection optical system PL (about 0.5 to 1.0 mm), is formed between the substrate P and the tip section 7 of the projection optical system PL, or to such an extent that a thin liquid film is formed on the entire surface of the substrate P before the start of the exposure for the substrate P. The tip section 7 of the projection optical system PL and the substrate P are made to tightly contact each other by the aid of the liquid 50. The spacing distance between the tip section 7 of the projection optical system PL and the substrate P is not more than several mm. Therefore, even when the substrate P is moved without supplying and recovering the liquid by using the liquid supply unit 1 and the liquid recovery unit 2 during the exposure for the substrate P, it is possible to continuously retain the liquid 50 between the projection optical system PL and the substrate P owing to the surface tension of the liquid 50. The resist (photosensitive film), which is disposed on the substrate P, is not damaged by the supply of the liquid from the liquid supply unit 1 as well. In this case, when a coating for repelling the liquid 50 (water-repelling coating when the liquid is water) is applied with a predetermined width to the circumferential edge of the substrate P, it is possible to avoid the outflow of the liquid 50 from the substrate P. The conditional expression (3) is satisfied to generate no turbulence in the liquid 50 when the substrate P is moved.

In the embodiment described above, the liquid (50) is supplied on the substrate stage PST. However, the liquid may be supplied onto the substrate P before the substrate P is imported onto the substrate stage PST. In this case, when the liquid,

which is supplied to part or all of the surface of the substrate P, has a thickness of about 0.5 to 1.0 mm, then the substrate P can be imported to the substrate stage PST and the substrate P can be exported from the substrate stage PST while placing the liquid on the substrate P by the surface tension. Also in this case, when a liquid-repelling coating having a predetermined width is applied to the circumferential edge of the substrate P, it is possible to enhance the retaining force for the liquid on the substrate P. When the substrate P is imported to the substrate stage PST and the substrate P is exported from the substrate stage PST while retaining the liquid on the substrate P as described above, it is possible to omit the mechanism for supplying and recovering the liquid on the substrate stage PST.

The embodiment described above is constructed such that the space between the projection optical system PL and the surface of the substrate P is filled with the liquid 50. However, for example, as shown in FIG. 9, the space may be filled with the liquid 50 in a state in which a cover glass 65, which is composed of a plane parallel plate, is attached to the surface of the substrate P. In this arrangement, the cover glass 65 is supported over the Z stage 51 by the aid of a support member 66. The space 57, which is formed by the cover glass 65, the support member 66, and the Z stage 51, is a substantially tightly closed or sealed space. The liquid 50 and the substrate P are arranged in the space 57. The cover glass 65 is composed of a material through which the exposure light beam EL is transmissive. The liquid 50 is supplied to and recovered from a space 56' between the surface of the cover glass 65 and the projection optical system PL by using the liquid supply unit 1 and the liquid recovery unit 2. The setting is made such that the conditional expression (3) described above is satisfied in the space 56' provided that d represents the spacing distance between the surface of the cover glass 65 and the tip section 7 of the projection optical system PL.



The surface treatment, which is in conformity with the affinity for the liquid 50, can be also applied to the surface (upper surface) of the cover glass 65. It is desirable that the liquid-attracting treatment is applied to the surface of the cover glass 65. Therefore, when the liquid 50 is water, a thin film is formed with a substance having a molecular structure of large polarity on the surface of the cover glass 65.

The substrate P, which is usable in the embodiments described above, is not limited to the semiconductor wafer for producing the semiconductor device. Those applicable include, for example, the glass substrate for the display device, the ceramic wafer for the thin film magnetic head, and the master plate (synthetic quartz, silicon wafer) for the mask or the reticle to be used for the exposure apparatus.

As for the exposure apparatus EX, the present invention is also applicable to the scanning type exposure apparatus (scanning stepper) based on the step-and-scan system for performing the scanning exposure for the pattern of the mask M by synchronously moving the mask M and the substrate P as well as the projection exposure apparatus (stepper) based on the step-and-repeat system for performing the full field exposure for the pattern of the mask M in a state in which the mask M and the substrate P are made to stand still, while successively step-moving the substrate P. The present invention is also applicable to the exposure apparatus based on the step-and-stitch system in which at least two patterns are partially overlaid and transferred on the substrate P.

The present invention is also applicable to a twin-stage type exposure apparatus. The structure and the exposure operation of the twin-stage type exposure apparatus are disclosed, for example, in Japanese Patent Application Laid-open Nos. 10-163099 and 10-214783 (corresponding to U.S. Pat. Nos. 6,341,007, 6,400,441, 6,549,269, and 6,590,634), Published Japanese Translation of PCT International Publication for Patent Application No. 2000-505958 (corresponding to U.S. Pat. No.

5,969,441), and U.S. Pat. No. 6,208,407, contents of which are incorporated herein by reference as far as allowed by the domestic laws and ordinances of the state designated or selected in this international application.

As for the type of producing the exposure apparatus EX, the present invention is not limited to the exposure apparatus for the semiconductor production apparatus for exposing the substrate P with the semiconductor device pattern. The present invention is also widely applicable, for example, to the exposure apparatus for producing the liquid crystal display device or for producing the display as well as the exposure apparatus for producing, for example, the thin film magnetic head, the image pickup device (CCD), the reticle, or the mask.

When the linear motor is used for the substrate stage PST and/or the mask stage MST, it is allowable to use any one of those of the air floating type based on the use of the air bearing and those of the magnetic floating type based on the use of the Lorentz's force or the reactance force. Each of the stages PST, MST may be either of the type in which the movement is effected along the guide or of the guideless type in which no guide is provided. An example of the use of the linear motor for the stage is disclosed in U.S. Pat. Nos. 5,623,853 and 5,528,118, contents of which are incorporated herein by reference as far as allowed by the domestic laws and ordinances of the state designated or selected in this international application.

As for the driving mechanism for each of the stages PST, MST, it is also allowable to use a plane motor in which a magnet unit provided with two-dimensionally arranged magnets and an armature unit provided with two-dimensionally arranged coils are opposed to one another, and each of the stages PST, MST is driven by the electromagnetic force. In this arrangement, any one of the magnet unit and the armature unit is connected to the stage PST, MST, and the other

of the magnet unit and the armature unit is provided on the side of the movable surface of the stage PST, MST.

The reaction force, which is generated in accordance with the movement of the substrate stage PST, may be mechanically released to the floor (ground) by using a frame member so that the reaction force is not transmitted to the projection optical system PL. The method for handling the reaction force is disclosed in detail, for example, in U.S. Pat. No. 5,528,118 (Japanese Patent Application Laid-open No. 8-166475), contents of which are incorporated herein by reference as far as allowed by the domestic laws and ordinances of the state designated or selected in this international application.

The reaction force, which is generated in accordance with the movement of the mask stage MST, may be mechanically released to the floor (ground) by using a frame member so that the reaction force is not transmitted to the projection optical system PL. The method for handling the reaction force is disclosed in detail, for example, in U.S. Pat. No. 5,874,820 (Japanese Patent Application Laid-open No. 8-330224), contents of which are incorporated herein by reference as far as allowed by the domestic laws and ordinances of the state designated or selected in this international application.

As described above, the exposure apparatus EX according to the embodiment of the present invention is produced by assembling the various subsystems including the constitutive elements as defined in claims so that the predetermined mechanical accuracy, the electric accuracy, and the optical accuracy are maintained. In order to secure the various accuracies, those performed before and after the assembling include the adjustment for achieving the optical accuracy for the various optical systems, the adjustment for achieving the mechanical accuracy for the various mechanical systems, and the adjustment for achieving the electric accuracy for the

various electric systems. The steps of assembling the various subsystems into the exposure apparatus include, for example, the mechanical connection, the wiring connection of the electric circuits, and the piping connection of the air pressure circuits in correlation with the various subsystems. The steps of assembling the respective individual subsystems are performed before performing the steps of assembling the various subsystems into the exposure apparatus. When the steps of assembling the various subsystems into the exposure apparatus are completed, the overall adjustment is performed to secure the various accuracies as the entire exposure apparatus. It is desirable that the exposure apparatus is produced in a clean room in which, for example, the temperature and the cleanness are managed.

As shown in FIG. 10, the microdevice such as the semiconductor device is produced by performing, for example, a step 201 of designing the function and the performance of the microdevice, a step 202 of manufacturing a mask (reticle) based on the designing step, a step 203 of producing a substrate as a base material for the device, an exposure process step 204 of exposing the substrate with a pattern of the mask by using the exposure apparatus EX of the embodiment described above, a step 205 of assembling the device (including a dicing step, a bonding step, and a packaging step), and an inspection step 206. The exposure process step 204 includes a step of performing the surface treatment for the substrate in order to adjust the hydrophilicity for the substrate and the liquid before the exposure.

#### Possibilities for Industrial Application

According to the present invention, it is possible to suppress the exfoliation of the liquid, the generation of a bubble, or the occurrence of turbulence, and it is possible to maintain the liquid in a desired state between the projection optical system and the substrate in the liquid immersion exposure. Accordingly, the pattern can be

transferred correctly with a wide depth of focus. Therefore, the present invention is extremely useful for the exposure based on the use of the short wavelength light source such as ArF. It is possible to produce a highly integrated device having desired performance.

### Scope of Patent Claims

1. An exposure apparatus which exposes a substrate by transferring an image of a pattern through a liquid onto the substrate, the exposure apparatus comprising: a projection optical system which projects the image of the pattern onto the substrate, wherein: a portion of the projection optical system, which makes contact with the liquid, is surface-treated to adjust affinity for the liquid.
2. The exposure apparatus according to claim 1, wherein the substrate is exposed while being moved in a scanning direction.
3. The exposure apparatus according to claim 1, wherein the surface treatment is performed depending on polarity of the liquid.
4. The exposure apparatus according to claim 3, wherein the liquid is water, and the surface treatment is applied to the portion to make contact with the liquid by forming a thin film with a substance having a molecular structure of large polarity.
5. The exposure apparatus according to claim 3, wherein the liquid is fluorine-based liquid, and the surface treatment is applied to the portion to make contact with the liquid by forming a thin film with a substance having a molecular structure of small polarity.
6. The exposure apparatus according to claim 1, wherein the portion of the projection optical system to make contact with the liquid includes a surface of an optical element disposed at a tip of the projection optical system and at least part of a surface of a



holding member which holds the optical element, and the surface of the optical element and at least said part of the surface of the holding member are surface-treated so that affinity for the liquid is increased.

7. The exposure apparatus according to claim 1, wherein at least part of the portion of the projection optical system to make contact with the liquid, through which an exposure light beam passes, is surface-treated so that affinity for the liquid is increased.

8. An exposure apparatus which exposes a substrate by transferring an image of a pattern through a liquid onto the substrate, the exposure apparatus comprising: a projection optical system which projects the image of the pattern onto the substrate, wherein: the projection optical system has a first surface area which includes a surface of an optical element disposed at a tip of the projection optical system, and a second surface area which is disposed around the first surface area; and affinity of the first surface area for the liquid is higher than affinity of the second surface area for the liquid.

9. The exposure apparatus according to claim 8, wherein the liquid is retained in the first surface area owing to the affinity of the first surface area for the liquid which is higher than the affinity of the second surface area for the liquid.

10. The exposure apparatus according to claim 1 or 8, wherein a conditional expression  $(v \cdot d \cdot \rho) / \mu \leq 2,000$  is satisfied provided that  $d$  represents a thickness of the liquid between the projection optical system and the substrate,  $v$  represents a velocity of a flow of the liquid between the projection optical system and the substrate,  $\rho$

represents a density of the liquid, and  $\mu$  represents a coefficient of viscosity of the liquid.

11. The exposure apparatus according to claim 1 or 8, further comprising a liquid immersion unit which makes the liquid to flow through at least part of a space between the projection optical system and the substrate, wherein the liquid flows as a laminar flow.

12. An exposure apparatus which exposes a substrate by illuminating a pattern with an exposure beam and transferring an image of the pattern through a liquid onto the substrate, the exposure apparatus comprising: a projection optical system which projects the image of the pattern onto the substrate; and a liquid immersion unit which fills, with the liquid, at least part of a space between the projection optical system and the substrate, wherein: a conditional expression  $(v \cdot d \cdot \rho) / \mu \leq 2,000$  is satisfied provided that  $d$  represents a thickness of the liquid,  $v$  represents a velocity of a flow of the liquid between the projection optical system and the substrate,  $\rho$  represents a density of the liquid, and  $\mu$  represents a coefficient of viscosity of the liquid.

13. The exposure apparatus according to claim 12, further comprising a supply unit which supplies the liquid to the space between the projection optical system and the substrate, and a recovery unit which recovers the liquid from the space between the projection optical system and the substrate, wherein an amount of the liquid to be supplied by the supply unit and an amount of the liquid to be recovered by the recovery unit are determined so that the conditional expression is satisfied.

14. The exposure apparatus according to claim 13, wherein the substrate is scanning-exposed while being moved in a scanning direction, and a velocity of movement of the substrate during the scanning exposure is determined so that the conditional expression is satisfied.

15. The exposure apparatus according to claim 12, wherein the substrate is scanning-exposed while being moved in a scanning direction, and a velocity of movement of the substrate during the scanning exposure is determined so that the conditional expression is satisfied.

16. The exposure apparatus according to claim 14, wherein a direction, in which the liquid flows, is parallel to the scanning direction.

17. The exposure apparatus according to claim 12, wherein the space between the projection optical system and the substrate is filled with the liquid, and the thickness  $d$  of the liquid is a spacing distance between the projection optical system and the substrate.

18. The exposure apparatus according to claim 12, wherein a cover glass is placed over the substrate during the exposure, and the thickness  $d$  of the liquid is a spacing distance between the projection optical system and the cover glass.

19. An exposure apparatus which exposes a substrate by illuminating a pattern of a mask with an exposure beam and transferring an image of the pattern through a liquid onto the substrate, the exposure apparatus comprising: a projection optical system which projects the image of the pattern onto the substrate; and a liquid immersion unit

which fills, with the liquid, at least part of a space between the projection optical system and the substrate, wherein: the liquid flows as a laminar flow in parallel to a scanning direction of the substrate.

20. The exposure apparatus according to claim 19, wherein a velocity of movement of the substrate in the scanning direction during the exposure for the substrate is determined so that the liquid flows as the laminar flow.

21. The exposure apparatus according to claim 20, wherein the liquid immersion unit has a supply unit which supplies the liquid and a recovery unit which recovers the liquid.

22. The exposure apparatus according to claim 21, further comprising a control unit which controls an amount of the liquid to be supplied by the supply unit and an amount of the liquid to be recovered by the recovery unit so that the liquid flows as the laminar flow.

23. The exposure apparatus according to claim 19, wherein the liquid immersion unit has a supply unit which supplies the liquid and a recovery unit which recovers the liquid, and the exposure apparatus further comprises a control unit which controls an amount of the liquid supplied by the supply unit and an amount of the liquid recovered by the recovery unit so that the liquid flows as the laminar flow.

24. The exposure apparatus according to claim 12 or 19, wherein the liquid is water.

25. The exposure apparatus according to claim 12 or 19, wherein the liquid is fluorine-based liquid.
26. The exposure apparatus according to claim 19, wherein the liquid immersion unit has a supply unit which supplies the liquid and a recovery unit which recovers the liquid, and the supply unit includes a nozzle which has a slit or a porous member provided for the nozzle.
27. An exposure apparatus which exposes a substrate by illuminating a pattern with an exposure beam and transferring an image of the pattern through a liquid onto the substrate, the exposure apparatus comprising: a projection optical system which projects the image of the pattern onto the substrate; a liquid immersion unit which supplies the liquid onto only the substrate; and a control unit which controls the liquid immersion unit, wherein: the control unit controls the liquid immersion unit so that the supply of the liquid is stopped during the exposure of the substrate.
28. The exposure apparatus according to claim 27, wherein a thickness of the liquid supplied onto the substrate is thinner than a working distance of the projection optical system, and the liquid is retained by surface tension on the substrate.
29. A method for producing a device, comprising using the exposure apparatus as defined in claim 1, 8, 12, 19 or 27.
30. An exposure method for exposing a substrate by projecting an image of a pattern onto the substrate by using a projection optical system, the exposure method comprising: applying a surface treatment to a surface of the substrate before the

exposure in order to adjust affinity for the liquid; filling at least part of a space between the projection optical system and the substrate with the liquid; and projecting the image of the pattern onto the substrate through the liquid.

31. The exposure method according to claim 30, wherein the exposure is performed for the substrate while moving the substrate in a scanning direction.

32. The exposure method according to claim 30, wherein the surface treatment is performed depending on polarity of the liquid.

33. The exposure method according to claim 32, wherein the liquid is water, and a thin film is formed with a substance having a molecular structure of large polarity on a portion which makes contact with the liquid.

34. The exposure method according to claim 32, wherein the liquid is fluorine-based liquid, and a thin film is formed with a substance having a molecular structure of small polarity on a portion which makes contact with the liquid.

35. A method for producing a device, comprising using the exposure method as defined in claim 30 to produce the device.



Fig. 1

2 liquid recovery unit

mask stage driving unit

1 liquid supply unit

control unit

substrate stage driving unit

Fig. 2

2 liquid recovery unit

1 liquid supply unit

scanning direction

scanning direction

Fig. 3

scanning direction

Fig. 5(b)

movement

Fig. 5(c)

movement

Fig. 6(b)

movement

Fig. 6(c)

movement

Fig. 8(a)

slit

Fig. 8(b)

porous body

Fig. 10

201 design (function, performance, pattern)

202 mask fabrication

203 substrate production

204 substrate processing

205 device assembly

206 inspection

(shipping)